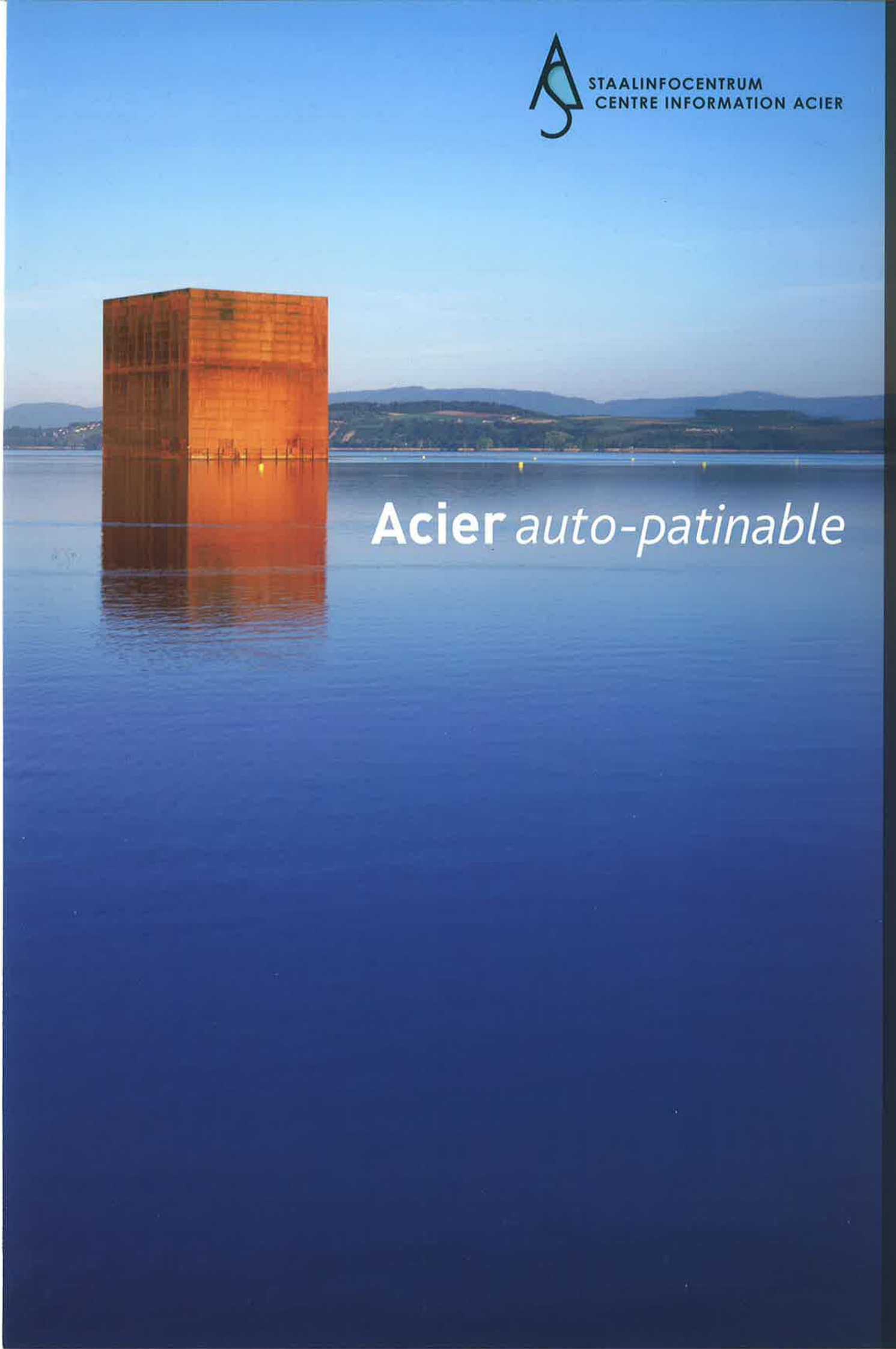
STAALINFOCENTRUM
CENTRE INFORMATION ACIER



Acier *auto-patinable*

staal_acier_édition spéciale
Acier auto-patinable - juillet 2006

Administration – Éditeur responsable
Centre Information Acier a.s.b.l.
Bruno Dursin
12 Chaussée de Zellik
B-1082 Bruxelles
T : + 32 (0)2 509 15 01
Fax : + 32 (0)2 511 12 81
info@infosteel.be – www.infosteel.be
TVA : BE 406 763 362

Coordination
Project manager:
ir. arch. Caroline Christiaens
Assistant project manager : Marie Segers

Rédaction
Editorial manager: arch. Paul Guillaume
Texte et rédaction finale :
prof. ir. arch. Wim Hoeckman
Exemples d'application :
ir. arch. Caroline Christiaens

Mise en page
Jeffrey Houwen (AD), Cayman

Impression
Imprimerie Alpha

Tirage : 1.000 exemplaires
Copyright 2006 by CIA/SIC
Tarif
Membres CIA €13 (TVA incl.)
Non-membres €19 (TVA incl.)

Tous les exemples d'application sont publiés avec l'accord des architectes. Les droits d'auteurs des photos sont réservés aux photographes. Toute reproduction ou traduction, même partielle et sous n'importe quelle forme, doit être préalablement sollicitée par écrit auprès de l'éditeur. Dans tous les cas, la source doit être mentionnée. Toutes les informations publiées ont été examinées et recueillies avec le plus grand soin. Le CIA et la rédaction de ce guide déclinent cependant toute responsabilité pour les inexactitudes, imperfections et conséquences éventuelles d'actes fondés sur des informations reprises dans ce guide.

Couverture :
Monolith (CH) – arch. Jean Nouvel

Éditorial

Au cours des dernières années, le Centre Information Acier (CIA) a évolué, pour devenir une association de défense des intérêts de toute personne impliquée dans l'avenir de la construction en acier en Belgique et au Luxembourg. Dès 2004, le CIA a lancé avec succès une campagne de recrutement de membres. Depuis lors, près de 500 membres se sont affiliés, provenant de divers secteurs : constructeurs métalliques, architectes, bureaux d'études, instituts d'enseignement, organismes publics, fournisseurs, distributeurs, etc. Cette évolution est principalement due à la forte augmentation des activités du Centre Information Acier, tant sur le plan du marketing, du transfert de connaissances que du lobbying. En ce qui concerne les publications, le lancement du magazine spécialisé staal_acier en décembre 2003 a constitué un jalon important. Le présent guide sur l'acier auto-patinable introduit une deuxième phase, visant une approche plus thématique. Des publications sur la sécurité incendie et sur la construction durable sont en cours de préparation.
Des exemplaires supplémentaires peuvent être commandés via le site **www.infosteel.be**.

Bruno Dursin
Directeur du Centre Information Acier a.s.b.l.

D.I_Tour des Rêves et des Nostalgies (DE) - Hermann & Valentiny et Associés

Avant-propos

L'acier auto-patinable est un produit naturel extraordinaire. Son attrait est dû à un phénomène que l'on tente généralement d'éviter : la rouille! Celle-ci est le produit de corrosion qui se forme lorsque l'acier est exposé aux intempéries. Toutefois, dans le cas de l'acier auto-patinable, la formation de rouille n'est pas le signe d'une corrosion avancée non désirée ni d'une dégradation de la construction.

L'acier auto-patinable résiste à la corrosion atmosphérique. Il s'agit d'un acier de construction ayant subi un (faible) alliage, principalement avec du cuivre (Cu) et du phosphore (P), ce qui forme une couche protectrice d'oxyde, ralentissant sensiblement le processus de corrosion et protégeant ainsi l'acier sous-jacent contre une attaque plus avancée. L'acier auto-patinable ne nécessite donc aucune autre protection contre la corrosion. Il présente une patine brune typique. Son utilisation s'est propagée des États-Unis en Europe dans les années 1960. Initialement, il était disponible uniquement sous le nom de marque Cor-Ten.

C'est surtout pour le revêtement de façades que l'acier auto-patinable est de plus en plus souvent utilisé par les architectes, en raison de ses caractéristiques esthétiques décoratives et de sa couleur naturelle fascinante. Son usage est en nette progression, également auprès des artistes. Les concepteurs et ingénieurs choisissent surtout l'acier auto-patinable pour son potentiel économique et sa facilité d'entretien, en particulier dans la construction de ponts. L'acier auto-patinable est également écologique: il permet de réduire, voire d'éviter, l'utilisation de peinture.

Pour mettre en oeuvre l'acier auto-patinable, il convient de tenir compte de certains aspects techniques. Différents projets de recherche ont dégagé des fils conducteurs pratiques. En Belgique, le CBLIA a publié en 1981 la brochure "Aciers patinables : recommandations pour leur utilisation dans la construction". Cette publication est maintenant dépassée, tant au niveau du contenu que de la forme. Le Centre Information Acier a donc pris l'initiative de la réécrire complètement. L'accent est mis particulièrement sur les caractéristiques de l'acier auto-patinable et les règles de conception pour en faire bon usage. Il y est fait référence aux principales normes. Outre quelques considérations économiques, l'attention se focalise principalement sur les projets récents, illustrés de photos et de détails techniques.

prof. ir. arch. Wim Hoeckman,
Vrije Universiteit Brussel

0.2_Chicago Civic centre (US) - C.F. Murphy & Ass

0_Sommaire

1	**Introduction**	**4**
2	**Aciers auto-patinables**	**5**
2.1	Composition chimique et caractéristiques mécaniques	5
2.2	Résistance à la corrosion	6
2.3	Conditions	7
2.4	Classification et surépaisseurs	7
2.5	Corrosion galvanique	9
2.6	Fatigue et comportement en cas d'incendie	9
3	**Livraison et traitement**	**10**
3.1	Disponibilité	10
3.2	Traitement	10
3.2.1	Soudabilité	10
3.2.2	Boulonnage	10
3.3	Technique d'assemblage	11
3.4	Décapage	11
3.5	Protection contre la corrosion	12
3.6	Conception	12
4	**Applications**	**14**
4.1	Maisons	14
4.1.1	Maison Dejardin-Hendricé	14
4.1.2	Annexe en acier et en verre	16
4.1.3	Maison passive	18
4.2	Appartements et bureaux	20
4.2.1	Immeuble résidentiel et commercial	20
4.2.2	Bâtiment multifonctionnel	22
4.3	Complexe omnisports	24
4.4	Centrale thermique	26
4.5	Autres applications	28
5	**Inspection et entretien**	**30**
5.1	Inspection	30
5.2	Entretien	30
5.3	Aspects économiques	30
5.3.1	Prix de construction	30
5.3.2	Frais d'entretien	30
5.3.3	Coûts ultérieurs	30
6	**L'acier auto-patinable et les ponts**	**31**
6.1	Introduction	31
6.2	Applications	33
6.2.1	Restauration du 'Pont Trencat'	33
6.2.2	Échangeur autoroutier	34
6.2.3	Passerelle piétonne	35
	Liste de vérification	**36**
	Photos	**37**
	Bibliographie	**37**

L'acier auto-patinable est un produit naturel extraordinaire.

0.3_Loft 11 (BE) - Atelier d'architecture Bruno Erpicum & Partenaires

0.4_Maison passive (BE) - Donald Desmet

1_Introduction

La différence la plus marquante par rapport aux nuances traditionnelles d'acier de construction est que l'acier auto-patinable est généralement employé sans protection contre la corrosion, telle que peinture ou couche de zinc. Il se distingue donc immédiatement du fait de la formation naturelle d'une couche de rouille protectrice. L'acier auto-patinable possède par nature une plus grande résistance à la corrosion atmosphérique. Tout d'abord, une fine couche d'oxydation se forme sur la surface du métal. Au fil du temps, cette couche devient si dense que l'oxygène de l'atmosphère ne peut plus atteindre la matière sous-jacente. Dans des circonstances favorables, le processus de corrosion est ainsi presque totalement arrêté. La condition étant bien entendu que la couche d'oxydation reste intacte et qu'elle ne soit pas enlevée, ce qui relancerait le processus de corrosion. Cette caractéristique particulière est due aux éléments de son alliage tels que le cuivre (Cu), le chrome (Cr), le nickel (Ni) et le phosphore (P). Il s'agit ici de quantités infimes (moins de 1%), si bien que toutes les autres caractéristiques (principalement mécaniques) ne diffèrent pas réellement de celles de l'acier de construction ordinaire.

Bien que légèrement plus cher que l'acier de construction ordinaire, l'acier auto-patinable présente de nombreux avantages économiques. Les frais de protection supplémentaire contre la corrosion sont éliminés. Ceci concerne non seulement le prix de revient du matériau et de l'application, mais aussi celui des échafaudages et de l'entretien. Les qualités esthétiques propres à la patine font également de l'acier auto-patinable un matériau unique que les architectes et les artistes apprécient de plus en plus. Enfin, puisque la peinture anti-corrosion est superflue, plus aucune matière volatile n'est émise. Lors de l'entretien, le décapage n'est plus nécessaire et, lors du recyclage, il n'y a plus de déchets de peinture.

1.1_Chicago Picasso (US) - Pablo Picasso

Les États-Unis ont été les premiers à utiliser l'acier auto-patinable, en particulier dans les ponts, bâtiments, cheminées et mâts. En 1960, l'architecte Eero Saarinen a conçu le siège central de John Deere à Moline (Illinois, États-Unis) dont la façade était entièrement réalisée en acier auto-patinable. C.F. Murphy & Ass. a également utilisé l'acier auto-patinable dans la façade de l'immeuble de bureaux Chicago Civic Center (Illinois, USA) en 1966. L'œuvre d'art qui se trouve à l'entrée de ce bâtiment est un cadeau offert en 1967 par Pablo Picasso à la ville de Chicago. La sculpture fait 15 m de haut et pèse 162 tonnes. Elle a également été réalisé en acier auto-patinable. Le plus grand pont du monde en acier auto-patinable se trouve aussi aux États-Unis: le New River Gorge Bridge, en Virginie Occidentale, est un pont en arc d'une travée de 518 m construit en 1977.

Cette nuance d'acier, présentant des caractéristiques réellement exceptionnelles, s'est rapidement répandue en Europe, où elle a acquis sa renommée sous la dénomination Cor-Ten. Ce nom a été breveté en 1933 par U.S. Steel. Depuis lors, presque tous les producteurs d'acier ont englobé l'acier auto-patinable dans leur gamme, si bien qu'il est aujourd'hui erroné de désigner tous les aciers auto-patinables sous la simple appellation Cor-Ten.

Dès les années 1970, l'acier auto-patinable a été appliqué en Europe dans pratiquement toutes les typologies de constructions: halls industriels, immeubles de bureaux, citernes, grues, mâts, cheminées, conteneurs, sans oublier bien entendu les ponts.

Comme souvent lors de l'utilisation de nouveaux matériaux, certains dommages ont pu être constatés après quelques années sur l'acier auto-patinable. Après examen, il s'est avéré que les causes étaient très diverses. En fait, l'idée première était qu'après quelques années l'acier auto-patinable ne rouillait plus. Mais, dans la pratique, tel n'est visiblement pas le cas. En outre, le concepteur, et en premier lieu l'architecte, ne concevait pas toujours les bons détails de construction. Ainsi, il est apparu clairement que l'utilisation d'acier auto-patinable exige que l'eau ne puisse pas stagner.

1.2_Royale Belge (BE) - R.Stapels et P. Dufau

1.3_Royale Belge (BE) - R.Stapels et P. Dufau

Il faut partout un bon écoulement et une bonne évacuation de l'eau. Il en va de même au niveau des joints, des raccords et des chevauchements de revêtements de façades. Depuis lors, des études approfondies sur ces aspects essentiels de conception ont été réalisées dans un grand nombre de pays et ont permis de constituer une solide expérience dans ce domaine. Toutes les questions importantes ont ainsi pu trouver une réponse définitive, et une série de détails-types ont été élaborés.

Du point de vue technologique (métallurgique), des études toujours plus poussées sont réalisées aujourd'hui encore pour obtenir une meilleure connaissance du comportement des aciers auto-patinables et des mécanismes responsables de leur caractéristique. Des expériences ont notamment été réalisées sur l'élément d'alliage titane (Ti) et de plus grandes quantités de nickel (Ni).

De nos jours, l'acier auto-patinable peut être utilisé de façon plus sûre et offre de très nombreux avantages. Ce guide donne à l'utilisateur un aperçu de toutes les informations indispensables à la bonne conception. Quantité d'exemples divers illustrent son utilisation polyvalente.

2_Aciers auto-patinables

2.1 Composition chimique et caractéristiques mécaniques

Auparavant, les aciers auto-patinables étaient classés dans la catégorie des aciers inoxydables (voir la norme EN 10020 [1]). En fait, cette nomenclature ne correspond pas à la réalité. Contrairement à l'acier inoxydable, l'alliage d'un acier auto-patinable est beaucoup moins important. Ce matériau n'est donc pas beaucoup plus cher que les aciers de construction ordinaires. Jusqu'en 2004, la norme européenne de produit de l'acier auto-patinable était la norme EN 10155. Cette dernière a été remplacée depuis début 2005 par la norme EN 10025-5 [2] qui doit être utilisée avec la norme EN 10025-1 [3].

Le tableau 1 reprend les principales caractéristiques chimiques des aciers auto-patinables (décrites dans la norme européenne de produit). Il existe deux types d'acier auto-patinable. Le premier type contient une haute teneur en phosphore (0,06% ≤ P ≤ 0,15%), ce qui en limite la soudabilité. Dans la pratique, ce type ne convient pas pour des épaisseurs supérieures à 12 mm. Il est principalement utilisé pour les revêtements de façade et les cheminées. Dans certains pays, dont l'Allemagne, son utilisation est cependant interdite [4]. Dans le deuxième type, une teneur inférieure en phosphore (P ≤ 0,035%) est compensée par une teneur plus importante en manganèse (Mn) et par l'addition notamment de vanadium (V) et de niobium (Nb). Le Cor-Ten A correspond au premier type, le Cor-Ten B au second. Les deux types possèdent un taux équivalent en carbone, légèrement plus élevé que celui d'un acier de construction normal.

La désignation est entièrement identique aux nuances d'aciers de construction ordinaires. Les lettres WP ou W y sont ajoutées, pour indiquer qu'il s'agit d'acier auto-patinable du premier ou du deuxième type.

Différents producteurs d'acier ont développé leurs propres aciers auto-patinables. Dillinger Hütte GTS et Usinor, appartenant tous deux au groupe Arcelor, exploitent par exemple la dénomination commerciale Diweten et Indaten. Diweten 235 et 355 correspondent aux types d'acier S235J2W et S355K2W selon la norme EN 10025-5. Ils sont tous deux disponibles en tôles d'une épaisseur allant jusqu'à 150 mm. Indaten 355A correspond au S355J0WP, disponible jusqu'à 15 mm. Corus, qui possède une licence pour utiliser la dénomination de Cor-Ten (A et B), propose également des tôles et des profils dans sa gamme de produits.

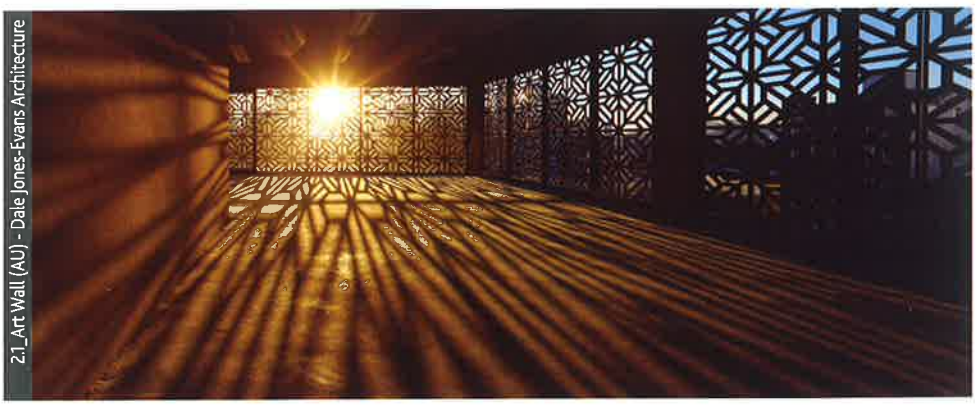
Tableau 1 : Composition chimique des aciers auto-patinables selon le tableau 2 de la norme EN 10025-5

nuance d'acier désignation		composition chimique (%)								
selon EN 10027-1	selon EN 10027-2	C max.	Si max.	Mn	P	S max.	N max.	Cr	Cu	Ni max.
S235J0W	1.8958	0,13	0,40	0,20 à 0,60	max. 0,035	0,035	0,009	0,40 à 0,80	0,25 à 0,55	0,65
S235J2W	1.8961					0,030	-			
S355J0WP	1.8945	0,12	0,75	max. 1,0	0,06 à 0,15	0,035	0,009	0,30 à 1,25	0,25 à 0,55	0,65
S355J2WP	1.8946					0,030	-			
S355J0W	1.8959	0,16	0,50	0,50 à 1,50	max. 0,035	0,035	0,009	0,40 à 0,80	0,25 à 0,55	0,65
S355J2W	1.8965				max. 0,030	0,030	-			
S355K2W	1.8967				max. 0,030	0,030	-			

Tableau 2: Propriétés méchaniques de l'acier auto-patinable selon EN 10025-5

nuance d'acier	limite élasticité minimale (N/mm²)						résistance à la traction (N/mm²)			valeur résilience minimale	
désignation	épaisseur nominal (mm)						épaisseur nominal (mm)			en direction de longueur (b) (c)	
selons EN 10027-1	≤ 16	> 16 ≤ 40	> 40 ≤ 63	> 63 ≤ 80	> 80 ≤ 100	> 100 ≤ 150	< 3	> 3 ≤ 100	> 100 ≤ 150	température (°C)	énergie minimale (J)
S235J0W S235J2W	235	225	215	215	215	195	360 à 510	360 à 510	350 à 500	0 -20	27 27
S355J0WP S355J2WP	355 (a)	345 (a)	-	-	-	-	510 à 680	470 à 630 (a)	-	0 -20	27 27
S355J0W S355J2W S355K2W	355	345	335	325	315	295	510 à 680	470 à 630	450 à 600	0 -20 -20	27 27 40 (d)

(a) pour produits plats : valable jusqu'à 12 mm
pour produits longs : valable jusqu'à 40 mm
(b) valeurs minimales de résilience sur échantillons de 10 mm d'épaisseur
(c) pour l'acier WP, les valeurs de résilience sont à convenir lors de la commande
(d) cette valeur correspond à 30 J à -30°C



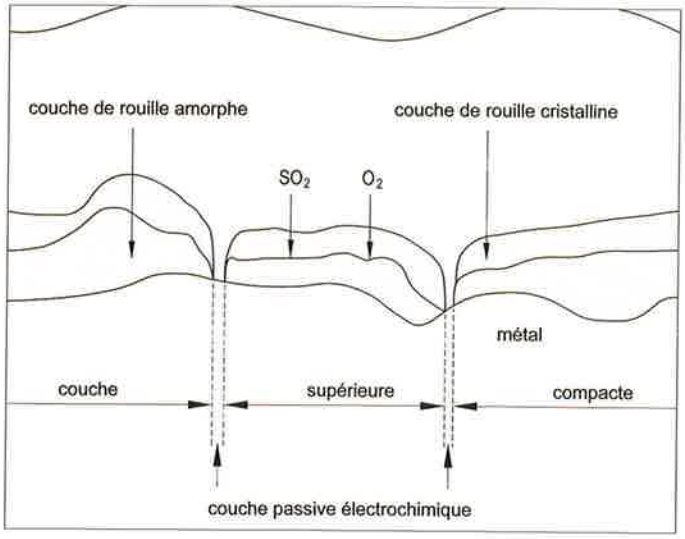
2.1_Art Wall (AU) - Dale Jones-Evans Architecture

La limite d'élasticité minimale et la résistance à la traction ainsi que les valeurs de résilience prescrites ne sont pas différentes de celles des aciers de construction non alliés. Ces valeurs sont reprises dans le tableau 2.

Aux États-Unis ainsi qu'au Japon, il existe déjà des aciers auto-patinables sous forme de tôles présentant une limite d'élasticité supérieure à 500 N/mm².

2.2 Résistance à la corrosion

Il convient d'opérer une distinction entre une surface d'acier exposée directement ou indirectement à l'humidité (par exemple la pluie). Les surfaces indirectement exposées peuvent être mouillées par la condensation ou par un haut degré d'humidité (> 60%). Les surfaces directement exposées présentent après un certain temps déjà une couleur brun foncé. En cas d'exposition indirecte, la patine est généralement d'une couleur plus claire et plus homogène. Le degré d'aération est co-déterminant dans la plupart des cas.



Représentation schématique de la couche d'oxydation d'une surface d'acier auto-patinable exposée

La grande différence entre les nuances d'aciers de construction non alliés et l'acier auto-patinable est que, pour les aciers traditionnels, la couche d'oxydation qui intervient après un certain laps de temps se détache de la surface du métal, si bien que le processus d'oxydation recommence à chaque fois et que la diminution d'épaisseur due à l'oxydation se poursuit de façon plus ou moins linéaire dans le temps. Pour les aciers auto-patinables, la couche d'oxydation est beaucoup moins poreuse et adhère mieux à la surface du métal. Il est généralement admis que ce phénomène est dû aux éléments d'alliage Cr et Cu. Une dizaine d'années peuvent s'écouler avant que cette couche couvrante ne soit entièrement formée. Elle est souvent qualifiée d'amorphe (bien qu'une étude récente ait démontré qu'elle est plutôt nanocristalline), si bien que l'oxygène, l'humidité et le dioxyde de soufre ne provoquent plus de corrosion majeure. C'est cette couche qui offre la réelle protection. Cependant, elle n'adhère pas aussi bien que la couche d'oxyde des alliages, par exemple, d'aluminium. La couche d'oxydation n'est pas non plus tout à fait uniforme. À certains endroits, elle présente de microfissures invisibles à l'œil nu. Outre la couche d'oxydation passive, l'acier est donc ponctuellement en contact direct avec l'air extérieur. Ces points restent alors passifs (et ne rouilleront pas), pour autant que la surface soit exposée à des alternances périodiques d'humidité et de sécheresse permettant à la couche protectrice d'oxydation de se former. Dans un climat d'humidité prolongée (sans périodes de sécheresse intermédiaires), l'utilisation de l'acier auto-patinable est donc à déconseiller. Le climat de la Belgique, des Pays-Bas et de la France n'entre cependant pas dans cette catégorie, mais il reste de première importance que les constructions en acier auto-patinable ne restent pas humides pendant de longues durées, en tout ou en partie. Par ailleurs, si les surfaces sont constamment sèches, la couche d'oxydation protectrice ne pourra pas se former. Mais, en pareil cas, elle n'est pas non plus réellement nécessaire.

Il convient de souligner que, même après la formation de la patine, le processus de corrosion n'est pas définitivement achevé. Pendant les premières années, la formation de rouille va se produire assez rapidement. Ensuite, elle ralentit sensiblement.

Au début, la couleur de l'acier auto-patinable est assez semblable à celle de la rouille de l'acier normal, à savoir d'un brun orange clair typique. Après un délai plus ou moins long, la teinte devient plus foncée. Différents facteurs déterminent la vitesse à laquelle la couche d'oxydation se stabilise ainsi que la couleur finale. En milieu industriel, le processus se terminera plus rapidement (après environ 18 mois) qu'en milieu rural (après environ 3 ans). Pour les surfaces exposées au soleil, la couleur et la texture finales de l'acier seront généralement plus claires et homogènes.

Pour obtenir une surface plus rapidement uniforme, il est important d'éliminer toute calamine, graisse, et autres marques de craie ou eau de ciment. Une différence de température ou d'évacuation de l'eau de pluie engendrera également des différences de teinte. Pour les surfaces indirectement exposées, il est important qu'une condensation éventuelle ne crée pas d'humidité constante. Celle-ci occasionnerait en effet une oxydation de l'acier auto-patinable identique à celle de l'acier de construction non allié.

Evolution de la couleur de l'acier auto-patinable ···>

2.3 Conditions

Les conditions indispensables pour que l'acier auto-patinable offre une parfaite protection contre la corrosion atmosphérique sont liées au climat auquel la construction est exposée, ainsi qu'au microclimat (dont l'influence est fort dépendante des détails de conception).

Condition 1 : pas d'humidité constante de longue durée

Si l'acier auto-patinable est exposé à une humidité de longue durée, il rouille comme de l'acier de construction ordinaire (non allié).

Condition 2 : alternances régulières d'humidité et de sécheresse

Les périodes d'humidité et de sécheresse doivent se succéder très régulièrement, par exemple des cycles de huit jours. Sinon, la corrosion sera plus rapide et plus importante. Les périodes d'humidité sont nécessaires pour provoquer la formation d'oxydation et les périodes de sécheresse pour cristalliser la couche d'oxydation de façon à permettre la formation d'une fine couche de protection amorphe.

Condition 3 : peu de matières nocives dans l'air

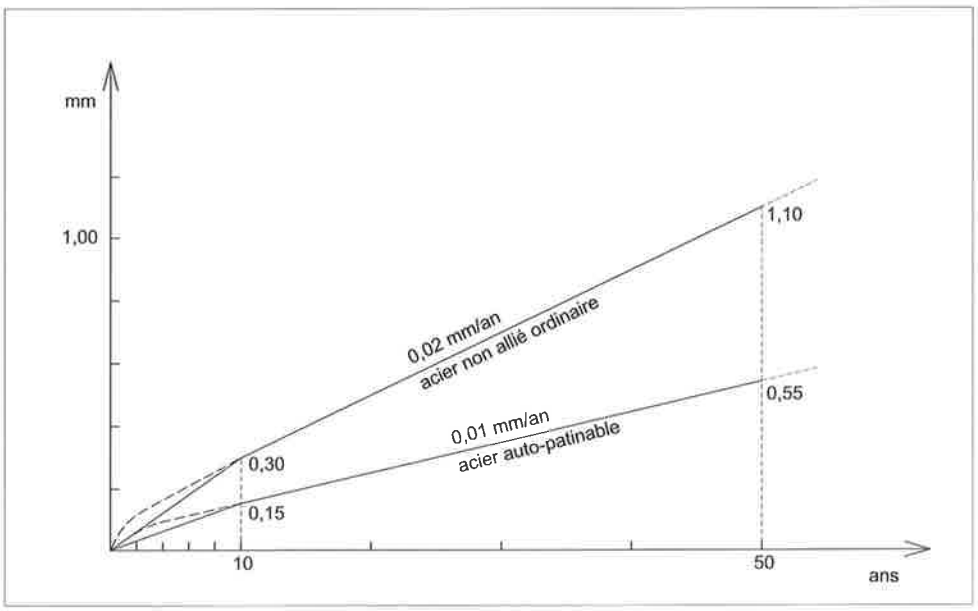
Certaines matières sont tellement corrosives que l'acier auto-patinable ne peut être utilisé que si ces matières ne dépassent pas certaines valeurs maximales. Il s'agit des hautes concentrations en chlorures (par exemple un climat maritime ou provenant du sel d'épandage) et/ou en dioxyde de soufre (par exemple dans les zones urbaines et industrielles) et des fumées chimiques ou industrielles fortement polluantes. Sous l'action de ces produits, la couche de protection dure et amorphe se changera en une couche poreuse et fragile qui n'offrira plus aucune protection contre la corrosion.

Dans la pratique, il est très difficile de satisfaire strictement à ces conditions. Il est indiqué ci-dessous comment procéder.

2.4 Classification et surépaisseurs

Si la résistance d'une construction risque d'être affectée par l'oxydation, des surépaisseurs pour les matériaux utilisés sont nécessaires. Mais cette remarque ne concerne que les surfaces exposées. L'intérieur d'un profil tubulaire fermé, par exemple, n'est pas concerné. Les surépaisseurs sont également exigées pour les soudures, si ce n'est déjà le cas par l'utilisation de tôles plus épaisses pour les soudures bout à bout, ou si les calculs ont démontré qu'une diminution éventuelle de l'épaisseur suite à l'oxydation est acceptable.

Dans le cas de l'acier auto-patinable indirectement utilisé comme élément constructif, par exemple pour un revêtement de façade ou de toit, il est également judicieux d'évaluer la diminution d'épaisseur par l'oxydation pendant la durée de vie de la construction et d'en tenir compte dans l'élaboration du projet. Pour des surfaces exposées d'une épaisseur inférieure à 5 mm, il faut tenir compte du fait qu'en cas de conception défavorable des détails de construction, les éléments peuvent être complètement rongés par la rouille.



Diminution d'épaisseur (valeur maximale) d'acier non allié ordinaire et d'acier auto-patinable selon l'ISO 9224 (classe de corrosion C4)

Les surépaisseurs dépendent du climat (extérieur) dans lequel se trouve la construction. La norme EN ISO 12944-2 [5] décrit six classes de corrosivité différentes en fonction du climat extérieur :

C1 : corrosion insignifiante
C2 : corrosion faible
C3 : corrosion modérée
C4 : forte corrosion
C5-I : très forte corrosion (zone industrielle)
C5-M : très forte corrosion (zone maritime)

Fischer [6] a déterminé des critères d'évaluation quantitatifs pour répartir une construction en acier auto-patinable dans les classes de corrosivité susmentionnées (voir tableau 3). La classification tient compte de la teneur en substances corrosives dans l'air environnant (SO_2 et Cl) et du degré d'humidité (alternance humide/sec). Le degré d'humidité dépend non seulement du climat extérieur mais également de la conception des détails de construction (par exemple, surfaces bien ou mal aérées, humidification directe ou indirecte, orientation nord ou sud, influence de la végétation).

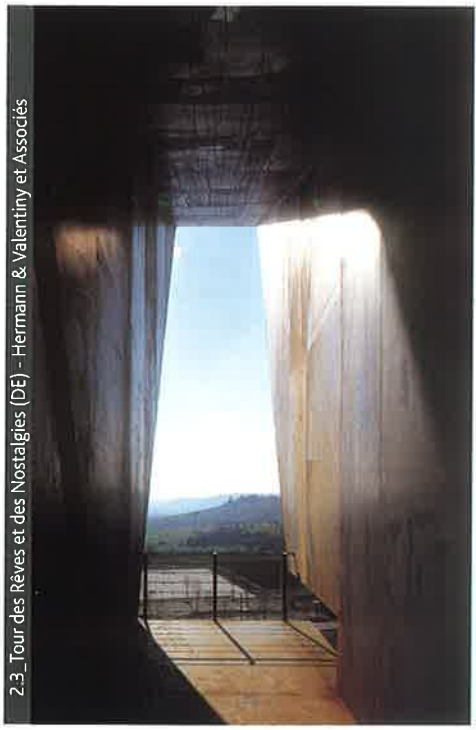
Dans la pratique, la classe la plus favorable est la classe C2. Les surfaces d'acier sous le tablier des ponts en font partie. Si les surfaces d'acier sont directement exposées à la pluie dans une atmosphère qui ne contient pas trop de substances corrosives, la classe C3 est applicable pour autant que la conception soit appropriée (pas d'accumulation d'humidité dans les interstices). Sinon, elles sont de classe C4. Si une (partie de) construction correspond à la classe C5, l'acier auto-patinable n'est pas utilisable sans revêtement. L'utilisation de l'acier auto-patinable nu ne convient donc pas dans les cas suivants :

- en présence de hautes concentrations en substances corrosives dans l'air environnant (cf. condition 3) ;
- si la surface d'acier exposée est constamment mouillée ou humide (cf. condition 2) ;
- si l'acier est exposé à de hautes concentrations en chlorure ou en sel. L'utilisation d'acier auto-patinable à moins de 2 km de la côte exige dès lors une attention particulière (cf. condition 3) ;

2.2_Tour des Rêves et des Nostalgies (DE) - Hermann & Valentiny et Associés

- si l'acier est exposé à l'utilisation de sel d'épandage ou si l'eau de dégel chargée de sel peut y ruisseler (cf. condition 3) ;
- si l'acier est en contact avec le sol, par exemple des poteaux (cf. condition 1) ;
- si la hauteur libre entre l'acier et le niveau d'eau environnant (par exemple d'un cours d'eau) est inférieure à 2,5 m (cf. condition 2).

La norme ISO 9224 [7] mentionne la diminution d'épaisseur due à l'oxydation pour les différentes classes de corrosivité, y compris



2.3_Tour des Rêves et des Nostalgies (DE) - Hermann & Valentiny et Associés

Tableau 3 : Classes de corrosivité sur la base de la norme EN 12944-2

degrés d'humidité	charge faible en substances corrosives	forte charge de dioxyde de soufre	forte charge de sel
conditions d'humidité effectives de la construction dues aux précipitations, à l'écoulement de l'eau ou à la condensation (pour une humidité relative de 70 à 80% à t > 0°c)	$SO_2 \leq 40$ µg/m³ et Cl ≤ 60 mg/m²,j	$SO_2 \leq 250$ µg/m³ et Cl ≤ 60 mg/m²,j	$SO_2 \leq 40$ µg/m³ et Cl ≥ 300 mg/m²,j
1. climat intérieur, à faible humidité de l'air, sans condensation (par exemple locaux climatisés)	C1	non applicable	non applicable
2. alternances humide/sec, avec condensation éventuelle de courte durée (par exemple climat extérieur en cas d'exposition indirecte à l'humidité et avec une bonne aération, ou climat intérieur de bâtiments non chauffés)	C2	C2/C3	C3/C4
3. alternances humide/sec, uniquement influencées par l'atmosphère (par exemple climat extérieur de bâtiments bien aérés sans possibilité de stagnation d'eau)	C3	C4	C4
4. alternances humide/sec, avec des périodes humides prolongées qui ne sont pas influencées uniquement par l'atmosphère (par exemple constructions mal aérées ou présentant des dépôts de salissures)	C4	C5	C5
5. alternances humide/sec, avec des périodes humides très longues - quasi permanentes (par exemple constructions mal aérées avec des interstices défavorables et/ou avec des salissures supplémentaires)	C4/C5	C5	C5

Tableau 4 : Diminution d'épaisseur due à la corrosion par surface et par an selon la norme ISO 9224

	r_{av} (µm)		r_{lin} (µm)	
	min.	max.	min.	max.
acier auto-patinable				
classe de corrosivité C2	0,1	2	0,1	1
classe de corrosivité C3	2	8	1	5
classe de corrosivité C4	8	15	5	10
acier de construction normal (non allié)				
classe de corrosivité C2	0,5	5	0,1	1,5
classe de corrosivité C3	5	12	1,5	6
classe de corrosivité C4	12	30	6	20

pour l'acier auto-patinable. Pour une durée d'utilisation de plus de 10 ans, la diminution totale d'épaisseur Δh par surface exposée est égale à

$\Delta h = \Delta h_1 + \Delta h_2 = 10\ r_{av} + (t - 10)\ r_{lin}$ où:

- Δh_1 diminution totale d'épaisseur pendant les premières dix années
- Δh_2 diminution totale d'épaisseur pendant les années suivantes
- r_{av} diminution annuelle d'épaisseur pendant les premières dix années
- r_{lin} diminution annuelle d'épaisseur pendant les années suivantes
- t nombres d'années d'exposition (t > 10)

Les classes C2, C3 et C4 sont soumises aux valeurs du tableau 4. Les valeurs pour l'acier de construction normal (non allié) sont également mentionnées.

Pour une durée de vie de 100 ans, la diminution totale d'épaisseur maximale par surface exposée atteint 0,11 mm (classe C2), 0,53 mm (classe C3) et 1,05 mm (classe C4). Selon les données de la directive DASt 007 [4], la perte pourrait être un peu plus importante: 0,8 mm (classe C2), 1,2 mm (classe C3), 1,5 mm (classe C4).

Lors de la conception, il faut veiller à compenser ces pertes d'épaisseur par des surépaisseurs.

Selon la norme ISO 9224, l'évolution dans le temps de la diminution d'épaisseur par oxydation est une courbe bilinéaire
(cf. schéma p.07). Pendant les dix premières années, la courbe est plus raide. En réalité, l'évolution pendant les premières dix années n'est pas parfaitement linéaire. Elle est représentée en pointillé. La diminution d'épaisseur due à l'oxydation de l'acier auto-patinable de classe C4 est d'environ 50% inférieure à celle de l'acier de construction ordinaire (non allié).

2.5 Corrosion galvanique

L'acier auto-patinable est exposé à la corrosion galvanique s'il entre en contact, par l'intermédiaire d'un électrolyte (par exemple de l'eau de pluie polluée), avec un métal plus noble (par exemple de l'acier inoxydable, du cuivre, du plomb, de l'étain). Inversement, les métaux électrochimiques moins nobles que l'acier (comme le zinc et l'aluminium) pourront être attaqués par l'acier auto-patinable. Dans les deux cas, la corrosion dépend des rapports de masse entre les deux métaux et de la différence de potentiel.

2.6 Fatigue et comportement en cas d'incendie

Des variations de contraintes peuvent être à l'origine de fissures de fatigue. L'état de la surface de l'acier entre également en ligne de compte. L'acier auto-patinable peut présenter des traces de rouille après un certain laps de temps. Ces marques peuvent donner lieu à des concentrations (légères) de contraintes, ce qui est défavorable. En réalité, ce phénomène sera rarement prépondérant pour la durée de résistance à la fatigue d'un bâtiment ou d'un pont, du fait qu'elle est généralement déterminée par des détails de construction plus défavorables sur le plan de la fatigue, et qui sont de toute manière présents dans le bâtiment ou le pont, comme des soudures. Étant donné que les structures en acier auto-patinable sont généralement utilisées exclusivement dans des applications extérieures, aucune protection contre le feu n'est généralement exigée. Suite à une teneur plus élevée en éléments d'alliage Cu et Cr, les aciers auto-patinables présentent une résistance plus importante aux hautes températures. Il ressort des recherches que, exposés à l'incendie, ils ont un comportement au moins similaire à celui des aciers non alliés.

2.4_Laboratoire archéologique Villa dei Quintilli (IT) - nlstudio (Susanna Ferrini - Antonello Stella) et Luigi Filatici

3_Livraison et traitement

3.1 Disponibilité

En général, tous les produits plats normaux (bandes, tôles) sont aisément disponibles en petites quantités en acier auto-patinable (WP et W), compte tenu bien entendu des limitations susmentionnées relatives à l'acier WP. D'autres produits (profils) sont presque exclusivement fabriqués sur commande, avec généralement une quantité minimale (de 5 à 20 tonnes) imposée par le producteur d'acier. Du fait également que les délais de laminage peuvent être plus longs, il est recommandé de prendre contact aussi rapidement que possible avec le producteur lorsque l'emploi d'acier auto-patinable est envisagé.

Exemple de disponibilité de l'acier auto-patinable (WP)

	2000	2500		3000		6000					8000	longueur
	1000	1250	1500	1250	1500	1000	1250	1500	1800	2000	2000	largeur
3	x	x		x	x	x	x	x				
4	x	x			x	x	x	x	x	x		
5	x		x		x	x		x		x	x	
6	x	x			x	x		x		x	x	
8	x	x			x			x		x	x	
10	x				x			x		x	x	
12										x	x	
épaisseur	(en mm)											

3.2 Traitement

L'acier auto-patinable ne diffère pas de l'acier de construction non allié du point de vue des traitements de base tels que le formage (à chaud ou à froid), le découpage et le forage. Pour le soudage, le boulonnage et la protection contre la corrosion, il convient de tenir compte d'un certain nombre de considérations.

3.2.1 Soudabilité

Bien que le taux équivalent en carbone des aciers auto-patinables soit en général supérieur à celui des types d'acier de construction non alliés, les procédés de soudage habituels sont d'application. Pour souder l'acier WP, des mesures de précaution particulières doivent être prises en raison de leur teneur élevée en phosphore.

Avant de souder, il est recommandé d'enlever la pellicule d'oxydation protectrice déjà formée sur une largeur de 10 à 20 mm. Ceci diminuera le risque de formation de fissures à chaud.

L'acier auto-patinable est également apte à être soudé sur des aciers ordinaires (non alliés).

Si l'acier auto-patinable n'est pas protégé contre la corrosion par un revêtement supplémentaire, il est nécessaire d'utiliser les produits d'apport de soudage appropriés. Ceci signifie que les électrodes de soudage doivent également résister aux intempéries. Pour les soudures plus épaisses, constituées de plusieurs couches, il suffit généralement que les couches extérieures exposées soient soudées avec ces électrodes. Les alliages conseillés sont par exemple CuNi ou CuNiCr. De telles électrodes sont disponibles dans le commerce sous la forme d'électrodes enrobées, d'électrodes fils fourrés et d'électrodes pour soudure SAW.

3.2.2 Boulonnage

Dans une construction métallique habituelle protégée, les assemblages boulonnés sont entièrement protégés contre l'infiltration d'eau par le revêtement. Ce n'est pas le cas pour l'acier auto-patinable non protégé.

Les boulons en acier auto-patinable existent dans les classes de résistance 4.6 et 5.6 ainsi que dans la classe de résistance élevée 8.8 (selon la norme anglaise BS 3692 – Grade 8.8 ou selon la norme américaine ASTM A325 Type 3). La composition chimique est généralement indiquée par Cor-Ten X, ce qui équivaut au Cor-Ten B mais avec une teneur plus élevée en carbone pour atteindre ainsi la haute résistance à la traction souhaitée.

Le risque existe que l'humidité soit "aspirée" par effet capillaire entre deux surfaces métalliques contiguës. Les produits de corrosion qui y sont liés peuvent avoir un volume bien plus élevé que la rouille formée pendant un processus de corrosion normal. Ceci peut entraîner une importante accumulation de rouille, également appelée *packout*.

Le risque d'infiltration d'eau entre deux surfaces métalliques assemblées dépend de l'étanchéité et de la rigidité du joint. Une déformation, même relativement petite, du joint peut engendrer l'effet capillaire. Le respect des pinces et entraxes maximaux des boulons peut fortement diminuer ce risque. L'entraxe maximal e_3 et e_4 (pour la rangée de boulons la plus proche du bord de la tôle) recommandé est de quatorze fois l'épaisseur de la tôle assemblée la plus mince ou de six fois le diamètre du trou du boulon, avec pour limite supérieure 180 mm. Comme pince maximale e_1 et e_2, on recommande huit fois l'épaisseur de la tôle assemblée la plus mince ou trois fois le diamètre du trou du boulon, avec pour limite supérieure 130 mm. Si ces distances ne peuvent pas être maintenues ou si d'autres risques d'infiltration d'eau existent, le joint doit être revêtu d'une couche de protection. Ceci peut se faire par l'application d'une protection avant le montage ou par l'obturation du joint grâce à une étanchéité appropriée ou à du mastic. L'obturation s'applique par exemple aux joints des boulons à haute résistance précontraints, car, dans ce cas, les surfaces de contact ne peuvent normalement pas être protégées. Le

3.1_Maison Dejardin-Hendrice (BE) - Atelier d'architecture P. Hebbelinck

3.2_Maison Dejardin-Hendrice (BE) - Atelier d'architecture P. Hebbelinck

traitement des surfaces de contact avec une peinture résistant au glissement est obligatoire en pareil cas.

Il est déconseillé d'utiliser des boulons traités par zingage électrolytique ou galvanisés, car, au fil du temps, la couche de protection des boulons sera corrodée et disparaîtra. Au final, la résistance à la corrosion de tels boulons est inférieure à celle de l'acier auto-patinable. L'utilisation de boulons en acier inoxydable pourrait théoriquement donner lieu à de la corrosion galvanique sur l'acier auto-patinable. Toutefois, l'expérience a montré que la masse de boulons en acier inoxydable est tellement faible par rapport à celle de l'élément en acier auto-patinable que de tels dommages ne se produisent pas. Les panneaux de façade peuvent être fixés avec des vis en acier inoxydable moyennant par exemple l'application d'une bague de traversée isolée (par exemple en caoutchouc chloroprène).

3.3 Technique d'assemblage

Par rapport aux joints boulonnés, les joints soudés présentent l'avantage d'éviter les interstices. C'est justement dans ces interstices que l'eau ou l'humidité peut pénétrer, de façon directe (par le ruissellement de la pluie) ou indirecte (par la condensation ou l'effet capillaire). Cette infiltration engendre une humidité de longue durée et, par conséquent, une forte corrosion. Si un interstice est suffisamment serré, la rouille ne pourra ni s'en échapper ni l'élargir, et réussira même à l'obturer. Le processus de corrosion s'arrêtera alors par défaut d'oxygène. Pour parvenir à une telle situation, il est donc essentiel de respecter les pinces et entraxes maximaux des boulons.

Dans le cas des joints soudés, aucune soudure discontinue n'est en principe autorisée. Une interruption du joint soudé est cependant possible si l'interstice n'est pas exposé à l'écoulement direct de l'eau. Dans ce cas, la longueur de l'interstice ne peut dépasser un dixième de l'épaisseur de la plaque assemblée la plus mince.

3.4 Décapage

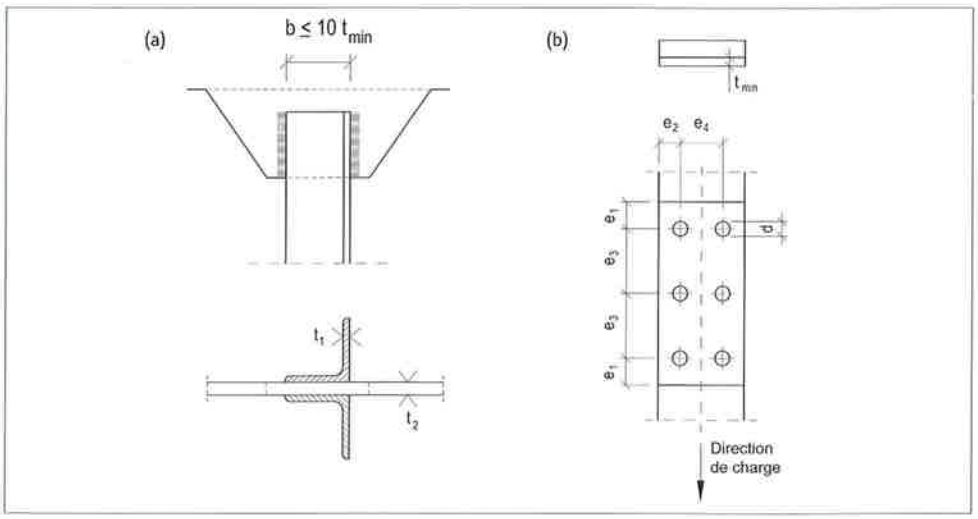
Pour obtenir une patine uniforme, il est important qu'après la fabrication, tous les éléments soient uniformément décapés (Sa2). Le processus d'oxydation sera alors quelque peu accéléré, en raison du degré plus élevé de rugosité de la surface ainsi obtenue. Bien entendu, il convient d'éviter autant que possible tout emploi de peinture, de cire et de craie pour le marquage de l'acier.

3.3_Bâtiment RVU (NL) - MVRDV

3.4_Maison passive (BE) - Donald Desmet

3.5_Maison Dejardin-Hendricé (BE) - Atelier d'architecture Pierre Hebbelinck

3.6_Passerelle piétonne (BE) - Bureau d'études Greisch



(a) Longueur maximale b de la zone non soudée d'un joint de soudure discontinue
(b) Assemblages boulonnés : pinces e_1, $e_2 \leq \min(3d, 8t_{min}, 130mm)$
écartements e_3, $e_4 \leq \min(6d, 14t_{min}, 180mm)$

3.5 Protection contre la corrosion

Si, pour des raisons esthétiques ou techniques (conception d'un détail de construction), l'acier auto-patinable devait être peint, il peut l'être au même titre que l'acier de construction ordinaire non allié, et selon les mêmes méthodes. L'acier auto-patinable protégé présente l'avantage supplémentaire de former une fine couche de patine de protection à hauteur des éventuels dommages, de façon à ne pas entacher le reste de la peinture par une oxydation ultérieure. C'est la raison pour laquelle pratiquement tous les conteneurs sont fabriqués en acier auto-patinable.

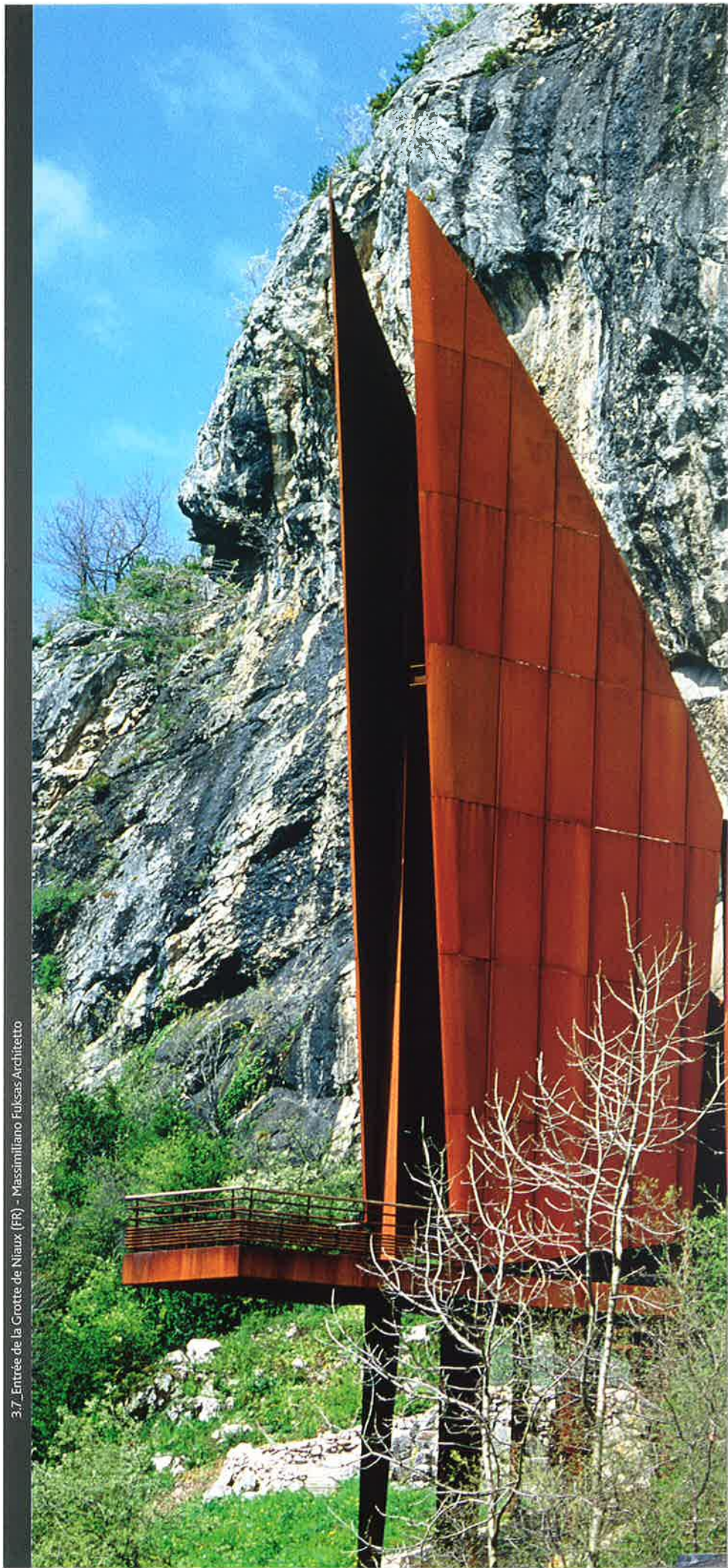
Si une construction en acier auto-patinable brut devait dans un stade ultérieur être tout de même protégée (par exemple parce que, au fil du temps, il s'avère que toutes les conditions ne sont pas respectées pour un emploi correct de l'acier auto-patinable et que l'acier rouille plus vite que prévu), les surfaces exposées devraient d'abord être débarrassées de la rouille par décapage, comme ça doit être le cas pour tous les types d'aciers de construction ordinaires non alliés.

3.6 Conception

Après la mise en service de la construction, et surtout pendant les deux ou trois premières années, une concentration importante en produits de corrosion sera emportée par le ruissellement de l'eau de pluie. Ce phénomène diminue avec le temps mais ne cesse jamais complètement. Les sels de fer transportés sont solubles dans l'eau. Ils peuvent se déposer et laisser des taches (de rouille) sur les constructions voisines, comme les fondations en béton. Pendant la conception et la construction, il faut par conséquent veiller à ce que l'eau puisse s'écouler sans laisser des traces néfastes sur les surfaces vulnérables.

En cas de salissures légères provoquées par le ruissellement d'eau chargée de rouille, les matériaux suivants peuvent généralement être nettoyés: le verre, les dalles en céramique, l'émail brillant, les revêtements organiques, le néoprène extrudé, l'acier inoxydable et l'aluminium. Par contre, il est difficile, voire impossible, de nettoyer les matériaux suivants: le béton, le plâtre, l'acier galvanisé, la maçonnerie, l'émail non brillant, la pierre et le bois.

Il existe dans le commerce des matériaux mastic compatibles avec l'acier auto-patinable.



3.7_Entrée de la Grotte de Niaux (FR) - Massimiliano Fuksas Architetto

4_Applications

4.1 Maisons

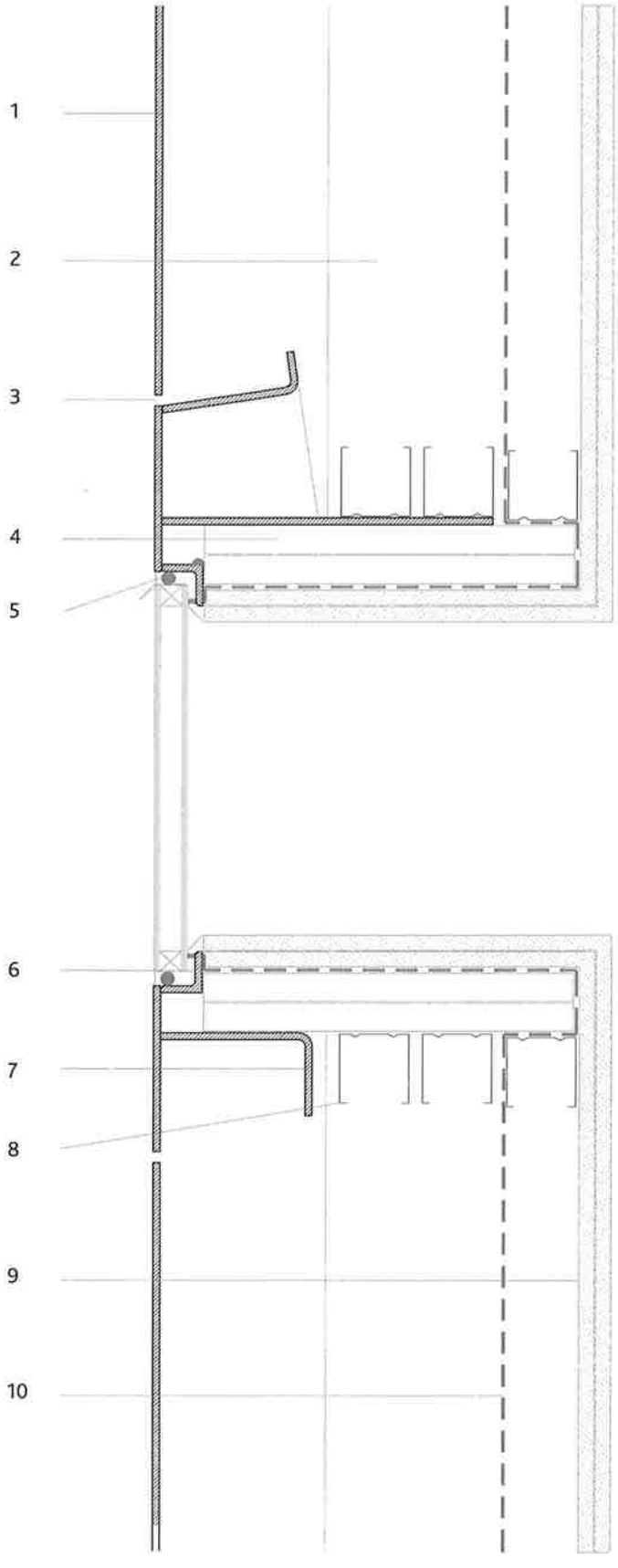
4.1.1 Maison Dejardin-Hendricé

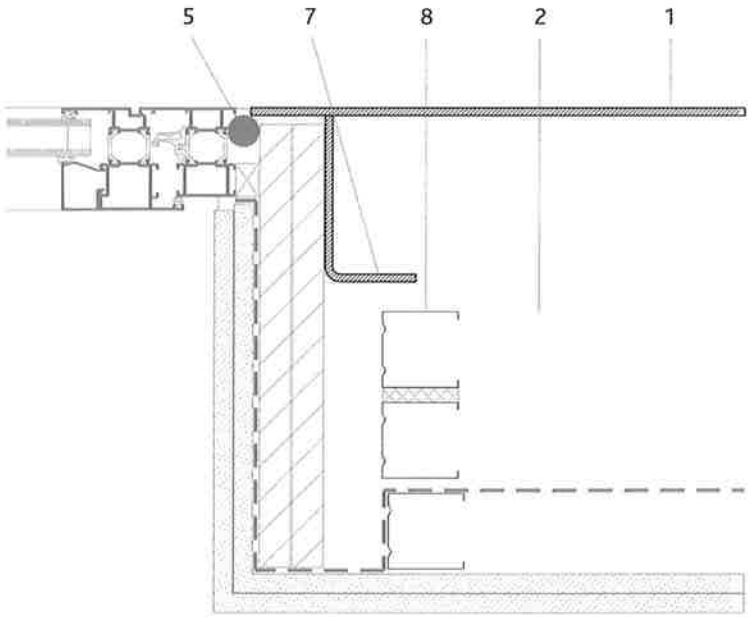
Maison Dejardin-Hendricé, Comblain-au-Pont, Liège (BE)
Maître d'ouvrage : André Dejardin & Magali Hendricé, Liège (BE)
Architecte : Atelier d'Architecture Pierre Hebbelinck, Liège (BE)
Bureau d'études : Bureau d'études Greisch, Liège (BE)
Constructeur métallique : Atelier Melens & Dejardin, Jupille (BE)
Année de construction : 2003-2004
Photos : André Dejardin

Cette habitation de 100 m² a été conçue à la demande d'un jeune couple au budget modeste de 100.000 euros. Le choix s'est porté sur un modèle cubique préfabriqué construit en analogie avec la construction navale : une coque en tôle d'acier auto-patinable. Le système a été élaboré en collaboration avec l'atelier de chaudronnerie industrielle de « Monsieur Dejardin père ».

L'acier auto-patinable a été choisi parce qu'il offre des nuances de couleur variées et qu'il nécessite très peu d'entretien. L'impact de la température, de la condensation, de la corrosion, des tolérances géométriques, des ponts thermiques, de la torsion des éléments, de l'inertie, etc., a été étudié sur la base de maquettes à grande échelle. Les concepteurs ont aussi utilisé un prototype grandeur nature (trois mètres de côté).

Les dimensions principales de l'habitation ont été déterminées en fonction des limitations des voies de transport. Finalement, elles ont pris la forme d'un gros cube, de 7 m de côté, et constitué de quatre éléments assemblés en atelier. Ces éléments préfabriqués ont été amenés sur chantier par convoi exceptionnel. Le tout a été assemblé in situ en une seule journée.





1 acier auto-patinable 5 mm

2 isolation 2 x 50 mm

3 évacuation d'eau

4 panneaux WBP 2 x 22 mm

5 joint silicone

6 cornière soudée

7 cornière asymétrique soudée

8 3 x profil MS 50

9 plâtre cartonné 2 x 13,5

10 pare-vapeur

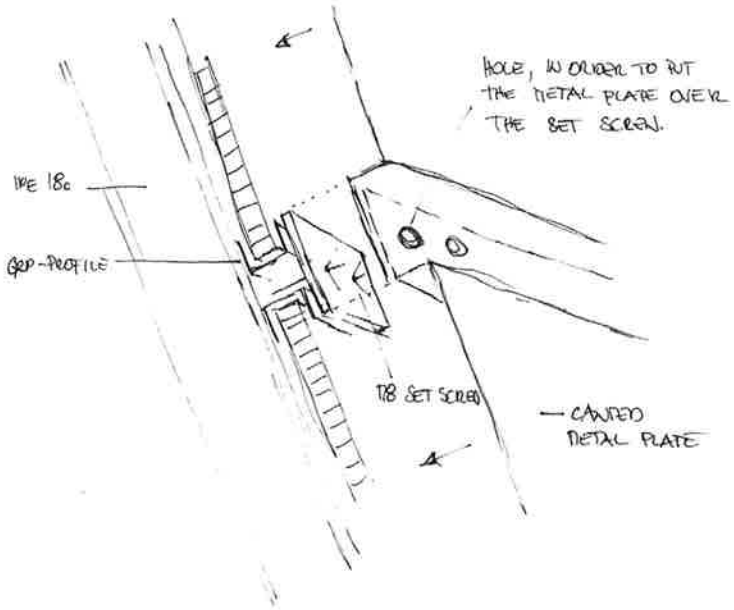
échelle 1:5

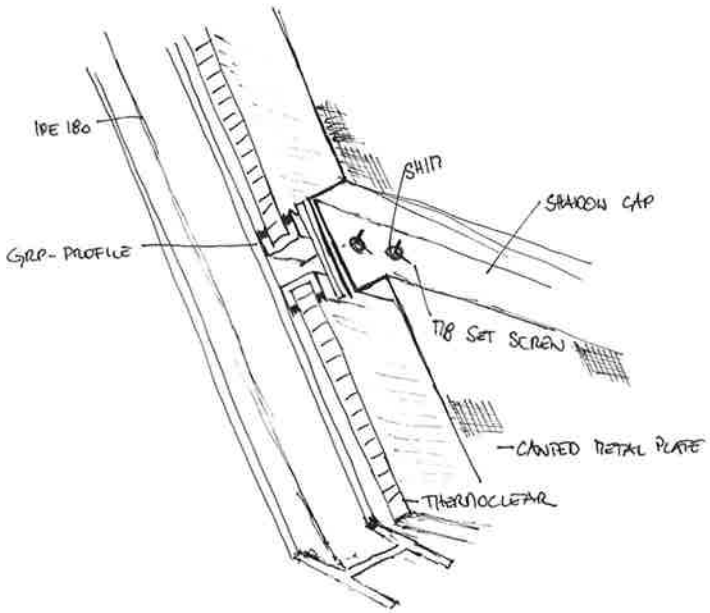
4.1.2 Annexe en acier et en verre

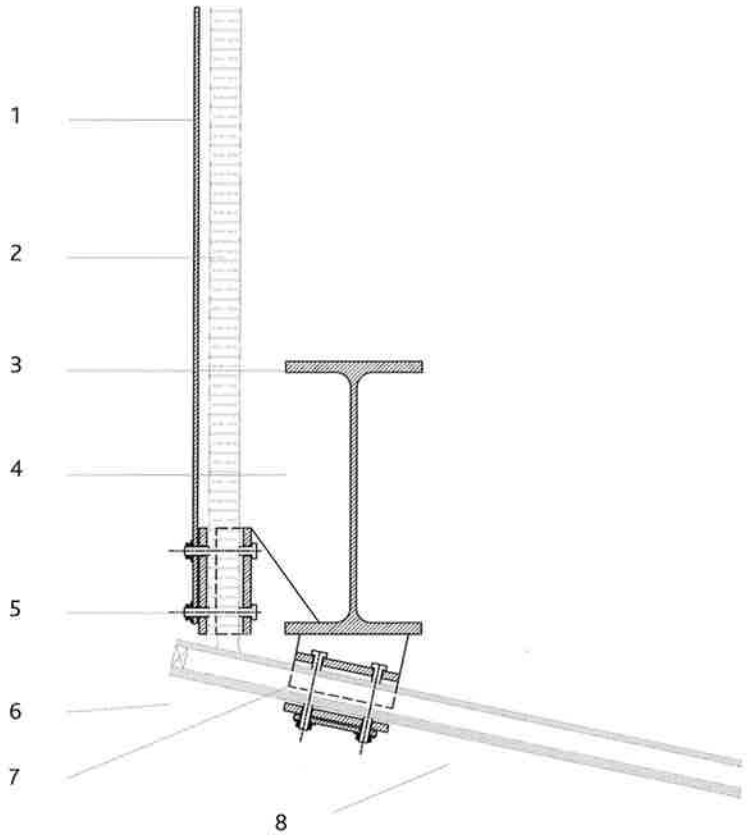
Glashaus, Wolfern (AT)
Maître d'ouvrage : ing. Gottfried & Gertraud Hertl, Wolfern (AT)
Architecte : Hertl.Architecten, Steyr (AT)
Constructeur métallique : Locksmith Meta-tec, Steyr (AT)
Année de construction : 2003-2004
Photos : Paul Ott, Graz

Le projet comprend la construction d'une serre destinée à l'hivernage de plantes tropicales. Les différents murs extérieurs de la construction varient en transparence. Outre une façade entièrement transparente en verre, une autre façade est réalisée en vitrage synthétique isolant. Les parties supérieures des façades sont réalisées en panneaux d'acier auto-patinable (partiellement perforés), conférant à la maison un caractère particulier. L'acier auto-patinable a été choisi pour son aspect « imposant » et en hommage aux constructions anglaises d'antan, en acier et en verre, utilisées pour les orangeries.

Les panneaux en acier auto-patinable de façade protègent de la pluie mais n'assurent pas l'étanchéité. Celle-ci est réalisée par le vitrage polycarbonate, le simple vitrage ou le steeldeck (pour le toit). Étant donné que le bâtiment fait office de serre, l'isolation thermique protège uniquement contre le gel. Seuls le toit et la partie supérieure du mur à côté de la terrasse ont été isolés. Pour les parties semi transparentes, c'est le vitrage synthétique qui procure l'isolation thermique.







1 acier auto-patinable perforé

2 vitrage polycarbonate isolant

3 IPE 180

4 platine de base 150/180 d= 10 mm

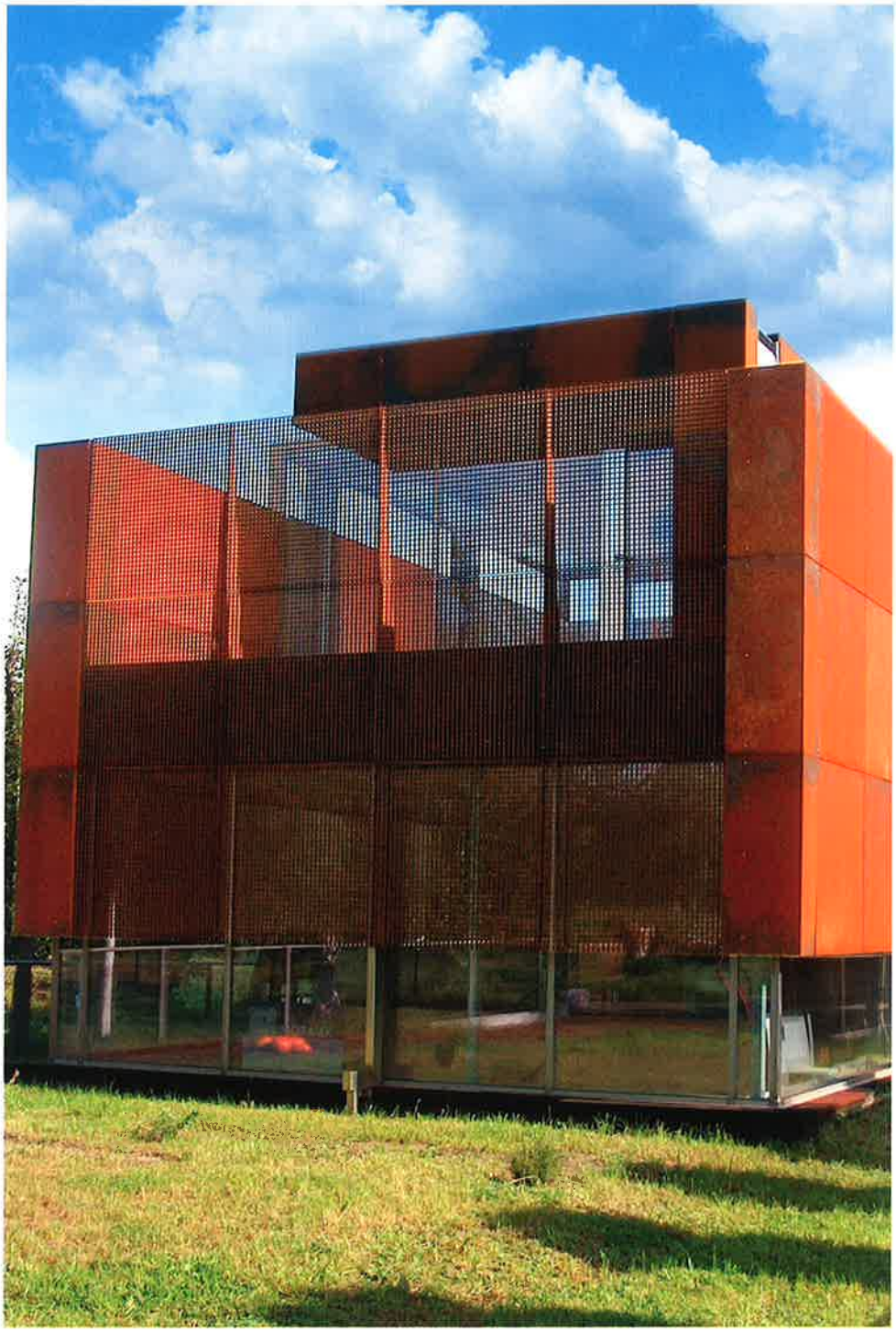
5 boulon M8

6 profil GRP

7 support soudé

8 double vitrage

échelle 1:5



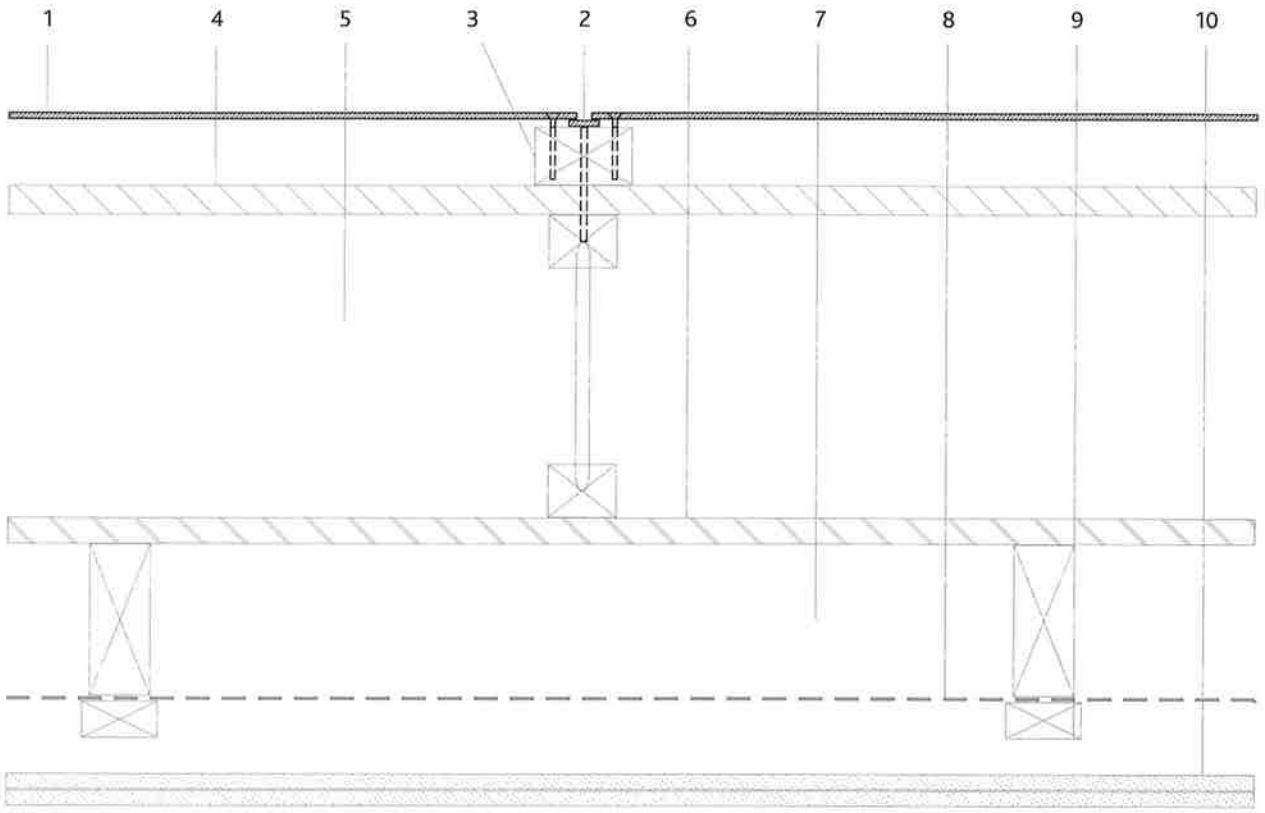
4.1.3 Maison passive

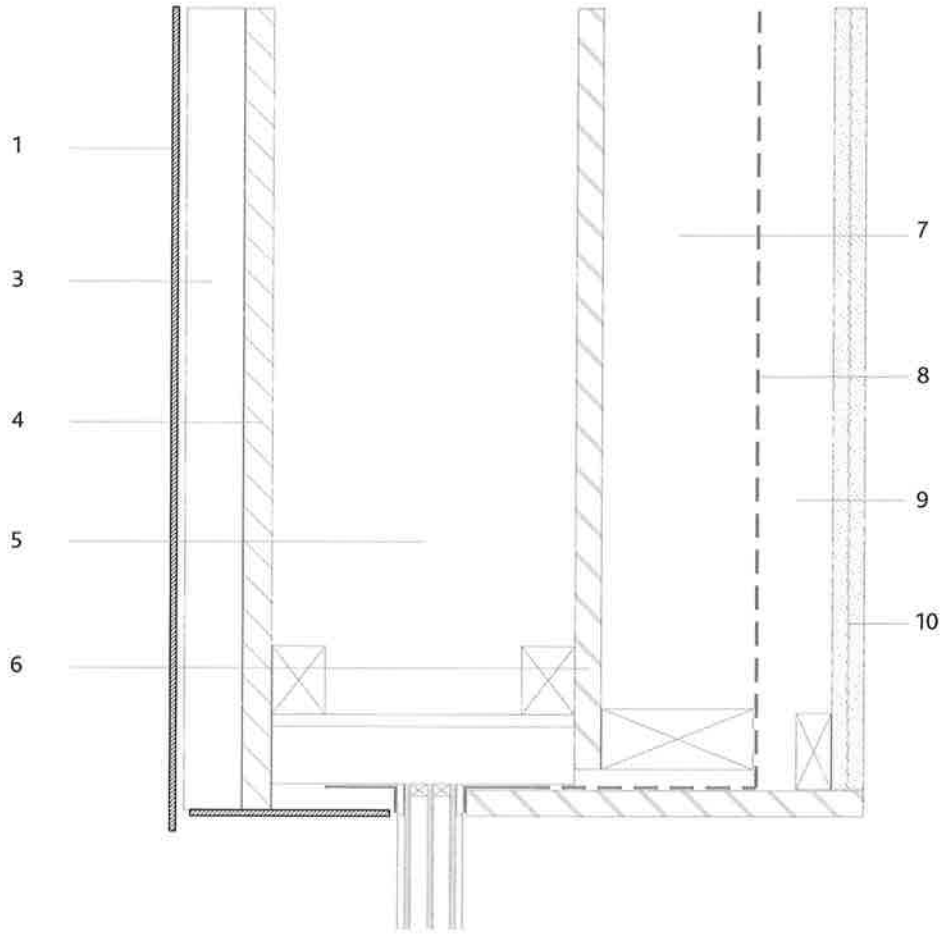
Passiefhuis, Drongen (BE)
Maître d'ouvrage : Donald Desmet & Evelien Sergeant, Drongen (BE)
Architecte : ir. arch. Donald Desmet, Drongen (BE)
Bureau d'études : Mozaiek ingenieur-architecten, Drongen (BE)
Constructeur métallique : Mebo Construct, Lokeren (BE)
Année de construction : 2003-2004
Photos : Donald Desmet

L'habitation a été construite sur une parcelle d'environ 15.000 m^2, dont 500 m^2 sont désignés comme zone d'habitation. Le reste du terrain est en zone naturelle. Malgré l'orientation défavorable et les petites dimensions de la parcelle, une habitation moderne unifamiliale isolée a été construite en rentabilisant l'espace grâce au concept de la maison passive.

L'habitation comprend un étage souterrain et deux étages en surface. Les espaces de vie occupent les étages supérieurs de l'habitation, de façon à offrir à la fois une vue sur le magnifique environnement et une utilisation optimale des effets de cheminée thermique naturels dans l'habitation, grâce au plan ouvert.

Le revêtement de façade est constitué de tôles en acier auto-patinable (4 mm d'épaisseur) découpées en panneaux de 1190x1190 mm. Les tôles sont fixées de façon visible par des vis à bois inoxydables sur une structure portante en bois. Les joints entre les panneaux sont finis d'une bande sous-jacente en acier auto-patinable. Les rebords du toit et les angles sont également en tôles d'acier pliées de 4 mm.





1 acier auto-patinable 4 mm

2 plaque de joint en acier auto-patinable 4 mm

3 latte en bois traité

4 panneau de fibres de bois bituminé 20 mm

5 structure FJI avec laine minérale de 250 mm

6 panneau OSB3 rainuré languetté collé 18 mm

7 structure CLS avec laine minérale de 100 mm

8 pare-vapeur

9 vide technique avec double lattage

10 plaque en fibro-plâtre 2 x 10 mm

échelle 1:5

4.2 Appartements et bureaux

4.2.1 Immeuble résidentiel et commercial

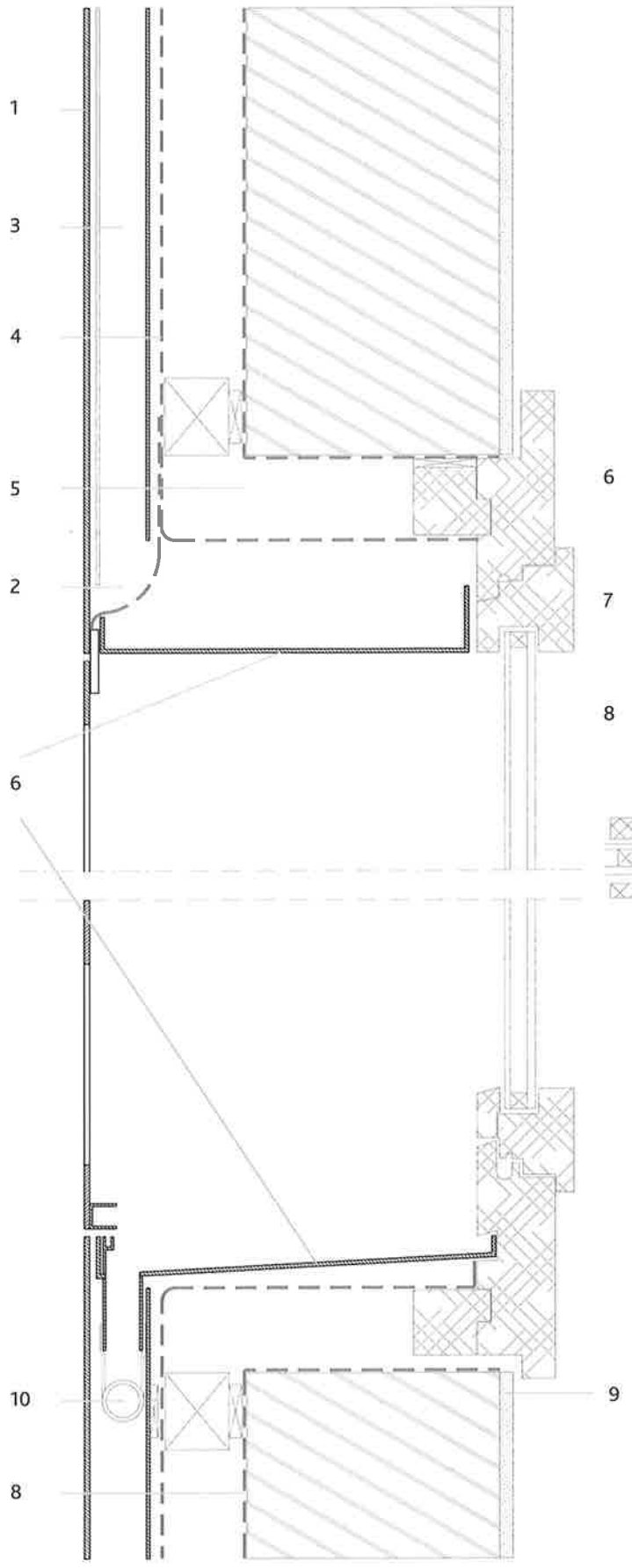
Immeuble résidentiel et commercial, Schaerbeek (BE)
Maître d'ouvrage : Commune de Schaerbeek (BE)
Architecte : Atelier d'architecture Mario Garzaniti, Liège (BE)
Bureau d'études : Ney & Partners, Bruxelles (BE)
Constructeur métallique : Ecomi, Liège (BE)
Année de construction : 2003
Photos : Alain Janssens

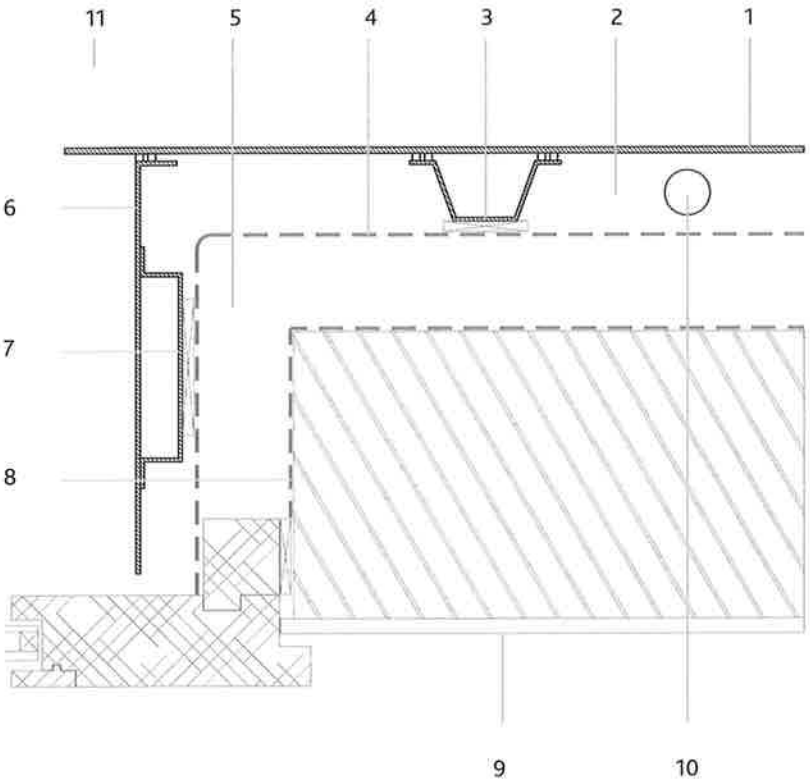
Pour l'ensemble de la façade de ce projet, le choix s'est porté sur des tôles d'acier auto-patinable, d'une épaisseur de 4 mm, en raison de leur aspect et des vastes possibilités d'application.

Chaque tôle est rivée à une structure verticale constituée de profils oméga en acier inoxydable. Un point de fixation est prévu au milieu de chaque tôle. Les tôles sont bordées de trous oblongs, permettant la dilatation thermique, par où passent les rivets.

Des bandes d'étanchéité flexibles autocollantes évitent tout risque de corrosion galvanique. Les murs extérieurs maçonnés sont protégés par un écran pare-vapeur. Des chevrons horizontaux en bois sont placés par-dessus, avec une isolation intermédiaire. Les fixations des profils oméga passent à travers les chevrons pour atteindre la maçonnerie portante. Une membrane micro perforée assure l'étanchéité de l'isolation et des profils. Les joints horizontaux entre les tôles sont ouverts pour profiter de l'effet de cheminée thermique. Grâce à leur forme et épaisseur, les profils oméga servent de cheminée de ventilation.

Chaque châssis recueille l'eau de pluie, derrière le revêtement, où l'eau est évacuée par un tube synthétique vers une gouttière intégrée en pied de façade.





1 acier auto-patinable 4 mm

2 vide ventilé

3 profil acier type 'A'

4 étanchéité

5 isolation et lattage

6 panneau latéral en inox sablé 3 mm

7 profil acier latéral type 'B'

8 pare-vapeur

9 plafonnage

10 tuyau de descente PVC, d 30 mm

11 gouttière en inox

échelle 1:5

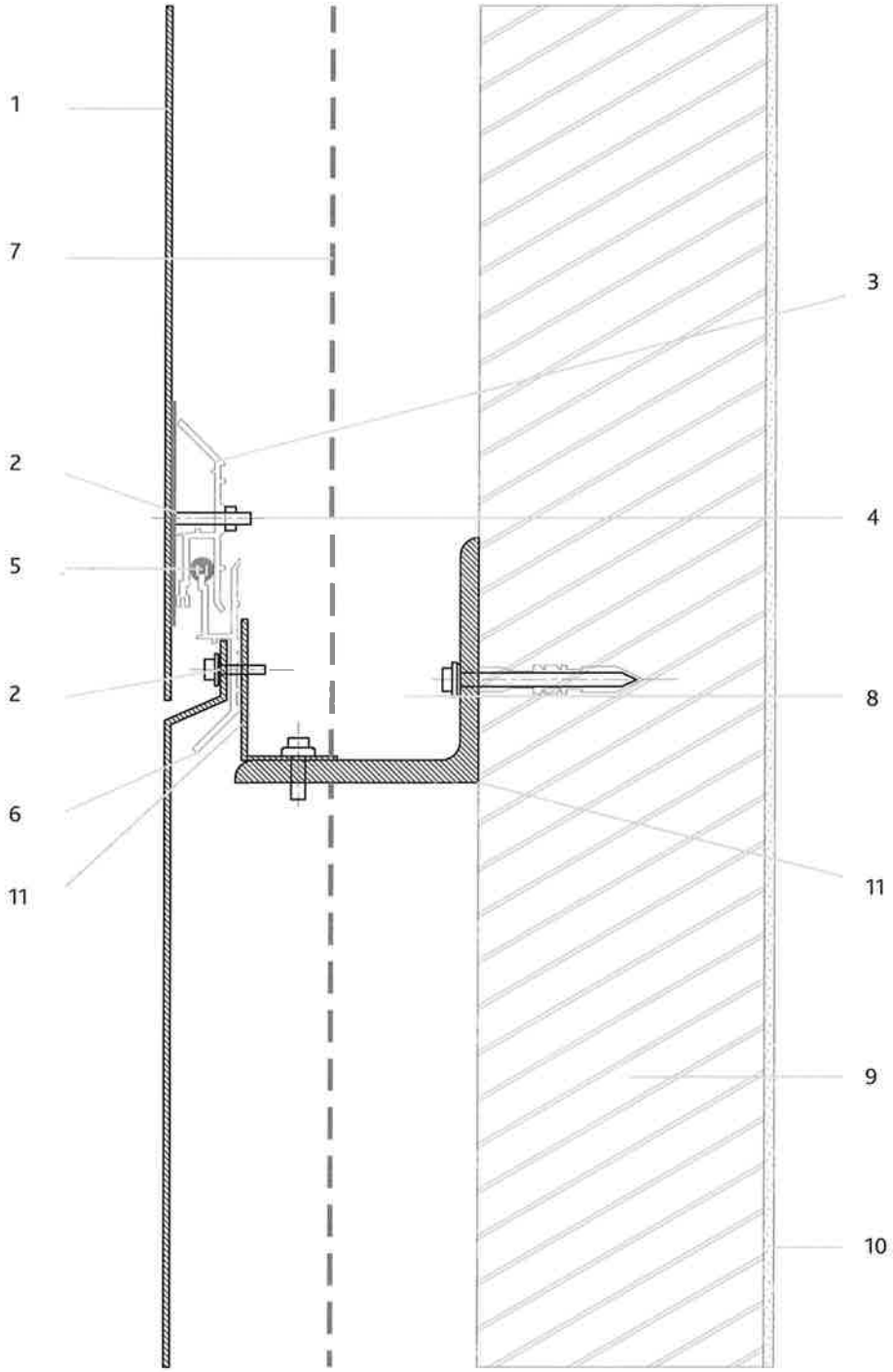
4.2.2 Bâtiment multifonctionnel

Gazzano House, Londres (UK)
Maître d'ouvrage : Tolent Ltd, (UK)
Architecte : Amin Taha Architectes, Londres (UK)
Bureau d'études : ZNS-Van Dam Geveltechniek
Constructeur métallique : ZNS-Van Dam Geveltechniek b.v., Ridderkerk (NL)
Année de construction : 2005
Photos : ZNS-Van Dam

Le quartier de Londres où la Gazzano House a été réalisée est connu pour la variété de ses styles architecturaux. En façade, l'une des principales considérations de conception de l'architecte était d'appliquer un matériau naturel compatible avec la diversité stylistique environnante. Le souhait était de réaliser une façade stricte et plate accordant une grande place à la finition et à la durabilité. Le choix de l'acier auto-patinable (3 mm) s'est donc rapidement imposé.

La fixation du revêtement de façade a été réalisée de façon invisible grâce à un concept développé personnellement par le constructeur métallique. Des cornières galvanisées à chaud ont été fixées contre le mur en maçonnerie. Elles supportent des cornières plus petites sur lesquelles sont attachées les cassettes. Les cassettes sont séparées les unes des autres et assemblées par des pièces intermédiaires spéciales préformées en aluminium. Sur la maçonnerie, entre les cornières, une isolation de 7 cm a été appliquée avec un pare-vapeur. Un vide dans le mur de 8 cm permet l'aération de l'arrière des tôles en acier auto-patinable.

Tous les éléments métalliques sont séparés les uns des autres à différents endroits par du plastique et de l'EPDM pour éviter la corrosion galvanique entre les métaux.



1 acier auto-patinable 3 mm

2 couche synthétique d'écartement

3 profil alu extrudé

4 boulon soudé

5 EPDM d'écartement

6 profil alu extrudé continu

7 étanchéité

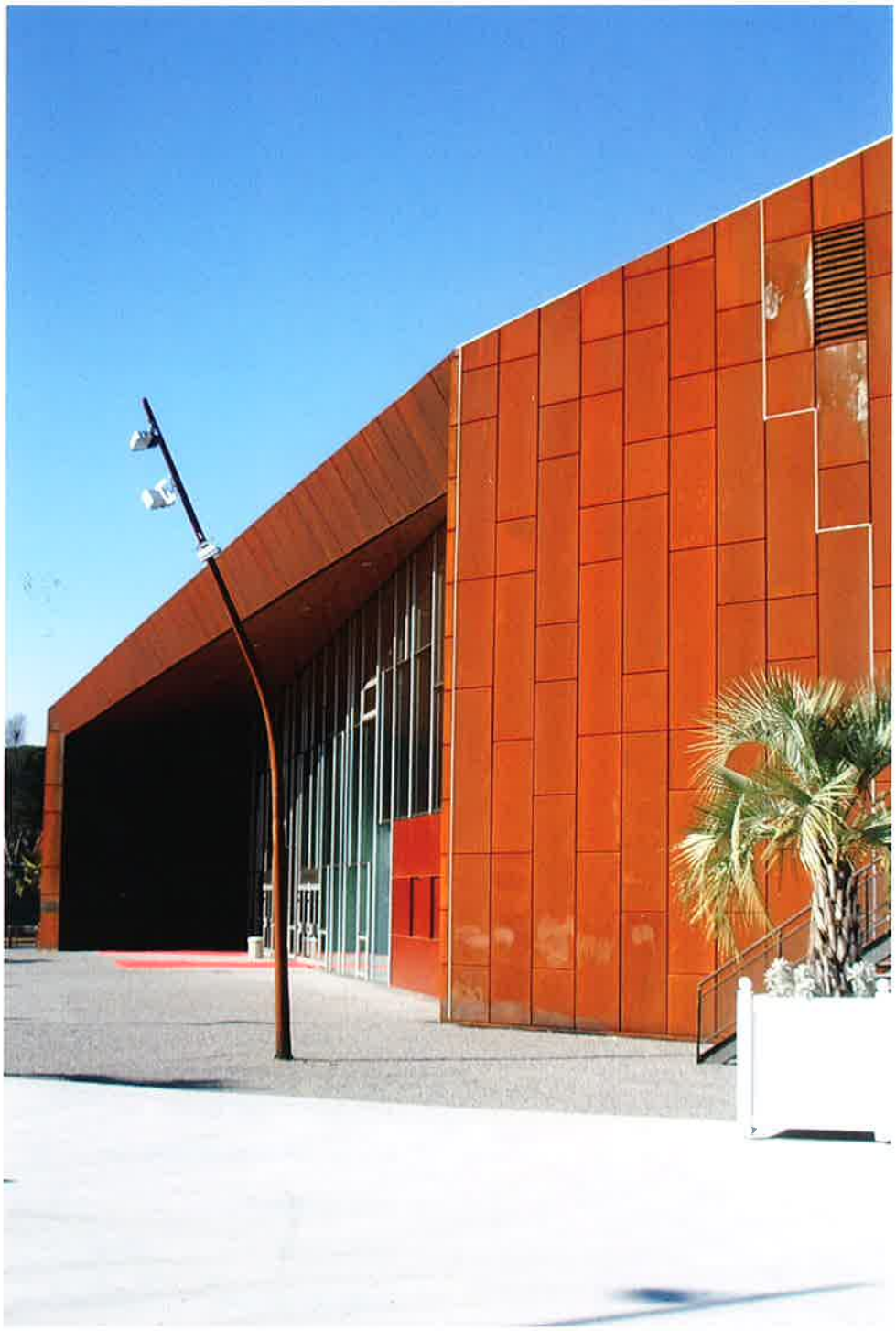
8 isolation

9 maçonnerie

10 plafonnage

11 cornière galvanisée

échelle 1:5



4.3 Complexe omnisports

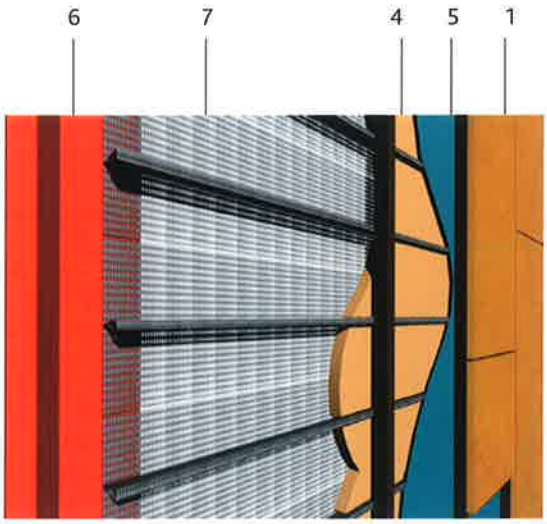
Palais des Victoires, Cannes, (FR)
Maître d'ouvrage : Ville de Cannes (FR)
Architecte : RFarq – Roberto Ferreira & Ass., Barcelone (ES)
Bureau d'études : Beterem, Marseille (FR)
Constructeur métallique : Campenon Bernard Méditerranée, Marseille (FR) / Eiffage, Asnières-sur-Seine Cedex (FR)
Année de construction : 2002-2005
Photos : RFArq – Silvia Navas

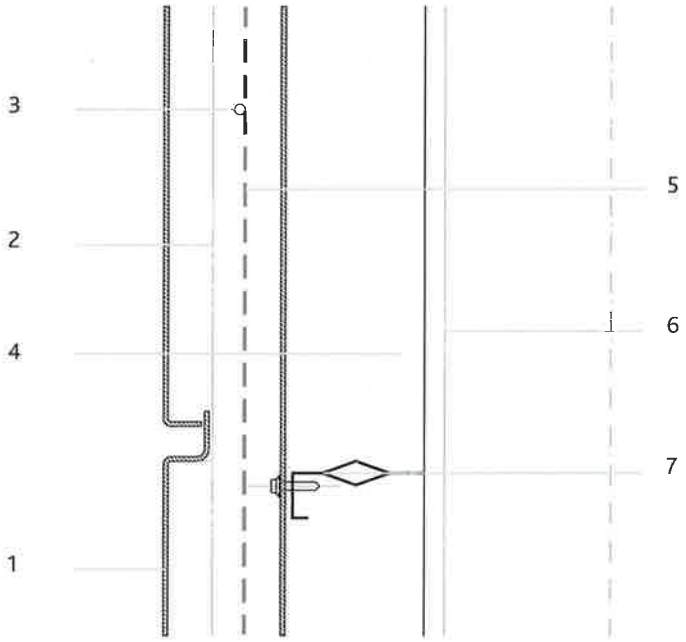
Le palais omnisports de Cannes est le résultat d'un dialogue architectural et fonctionnel entre deux éléments de base : le revêtement du toit et de la façade, tous deux en acier auto-patinable S355WP.

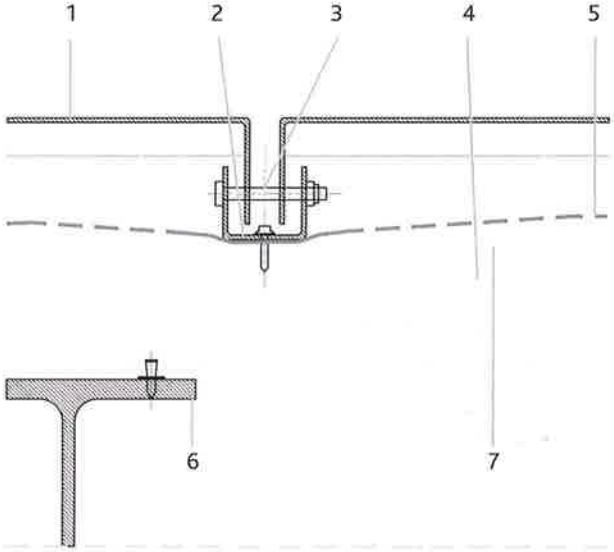
L'acier auto-patinable a été choisi d'une part parce que le bâtiment doit être durable et d'autre part parce qu'il offre l'expression d'un noble vieillissement. Pour alléger la structure portante, l'épaisseur des tôles a été limitée. Les cassettes de façade en acier auto-patinable d'une épaisseur de 3 mm répondent aux exigences posées par la construction.
L'objectif était de réaliser un seul volume dans la continuité entre la façade et le toit. Le système devait également être facile à monter.

La finition de la façade a été étudiée en vue d'une harmonie maximale. Les éléments sous-jacents de la façade ont été réalisés sur la base de trois types de cassettes : 90x90, 90x180, 90x270 cm.
Des cassettes en acier perforé ont été montées sur la structure portante principale, par-dessus encore, des profils en U prélaqués. L'isolation est intégrée à ces cassettes. Les tôles en acier auto-patinable sont fixées des deux côtés de ces profils.

Pour la structure portante verticale, le choix s'est porté sur des profils IPE et HEA conventionnels, ce qui a permis de réaliser la construction en treize mois, avec une moyenne de 1.000 m^2 par mois.







1 cassette en acier auto-patinable 3 mm

2 profil U prélaqué

3 axe porteur

4 isolation

5 étanchéité

6 structure portante

7 cassette-plateau perforée

échelle 1:5

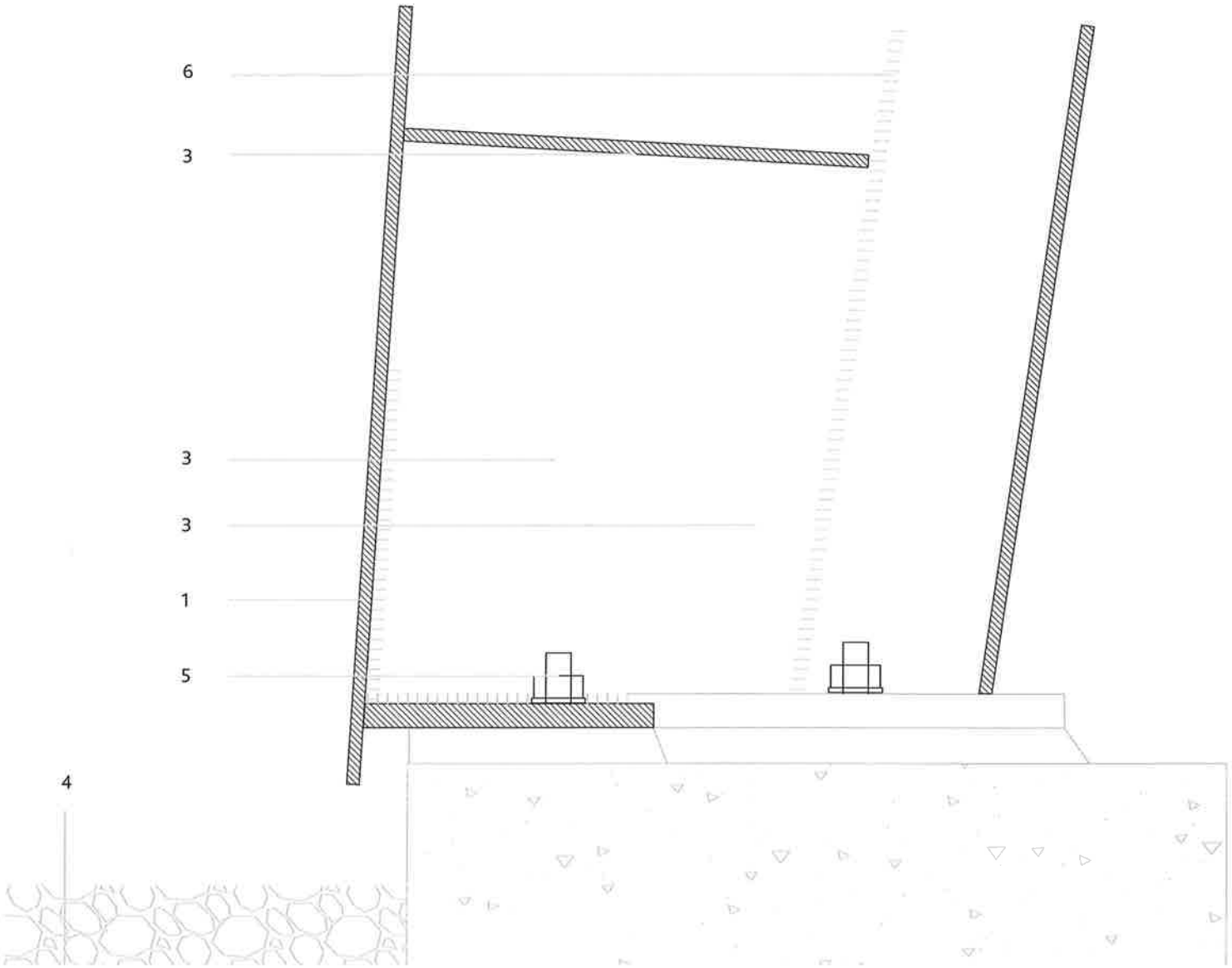
4.4 Centrale thermique

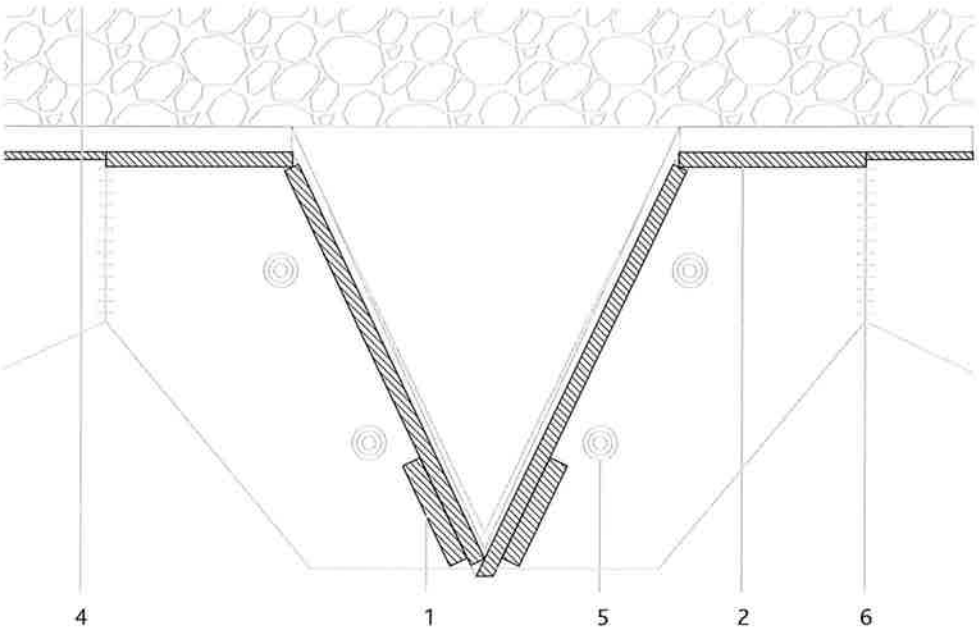
Centrale thermique, Utrecht (NL)
Maître d'ouvrage : Université d'Utrecht (NL)
Architecte : Atelier Zeinstra van der Pol, Amsterdam (NL)
Bureau d'études : Pieters Bouwtechniek, Utrecht (NL)
Constructeur métallique : Hollandia, Krimpen a/d Ijsel (NL)
Année de construction : 2004
Photos : Johan Rombouts & Jan Jaap Roeten

Pour l'extension de l'unité de production de la centrale existante de l'université d'Utrecht, un nouveau bâtiment de 6.000 m^3 a été réalisé. Sa forme se réfère directement à sa fonction.

Le revêtement extérieur est totalement isolé des espaces moteurs, ce qui évite la transmission des vibrations. Une construction autoportante en acier auto-patinable a été choisie pour exprimer sobrement la fonction technique du bâtiment. Les plis profonds ont non seulement pour objectif de modeler la construction mais constituent également la base de la structure portante. Pour plus de rigidité, des raidisseurs et des diaphragmes de renforcement ont été prévus à l'intérieur en divers endroits.

Les conduits de cheminée de 26 m de haut ont été conçus en deux parties. L'assemblage par soudage et le montage des installations techniques ont été réalisés avant l'élévation.





1 acier auto-patinable 25 mm

2 acier auto-patinable 20 mm

3 raidisseur

4 empierrement rouge

5 boulon d'ancrage

6 joint soudé

échelle 1:10

4.5 Autres applications

4.1_Parc Emile Mayrisch (LU) - Atelier d'urbanisme et d'architecture du Paysage

4.2_Au Gré des Vents (BE) - Michel Delaere

4.3_Porte (BE) - Michel Delaere

4.4_Entrée de parking souterrain (ES)

4.5_Laboratoire archéologique Villa del Quintili (IT) - nStudio (Susanna Ferrini - Antonello Stella) et Luigi Filetici

4.6_Art Wall (AU) - Dale Jones-Evans Architecture

4.7_Lampadaire (BE) - Michel Delaere

4.13_Centre de congrès Barcelone (ES)

4.10_Art Wall (AU) - Dale Jones-Evans Architecture

4.8_Escalier, maison Du Toit (ZA) - Bartel Viljoen, Viljoen Albertijn Architects

4.11_Jazz station (BE) - Paul Delaby, PDDA

4.9_Parc Emile Mayrisch (LU) - Atelier d'urbanisme et d'architecture du Paysage

4.14_Loft 11 (BE) - Atelier d'architecture Bruno Erpicum & Partenaires

4.12_Chassis (BE) - Metal Quartz, Dalla Valle

5_Inspection et entretien

5.1 Inspection

Les éléments de structure portante en acier auto-patinable doivent être régulièrement inspectés. Bien entendu, il s'agit ici principalement de l'évolution de la corrosion des surfaces exposées. La diminution d'épaisseur due à la corrosion doit être comparée avec les surépaisseurs prescrites lors de la conception. Après la mise en service de l'ouvrage, il faut effectuer un relevé de référence des épaisseurs de tôle aux endroits stratégiques. Sont mentionnés dans un protocole: l'emplacement précis des points de mesure, l'épaisseur théorique, l'épaisseur mesurée. La détermination des épaisseurs existantes peut être réalisée avec des instruments à ultrasons. Il est recommandé au constructeur métallique d'attirer l'attention du maître d'ouvrage sur la nécessité de cette inspection périodique. Les données relatives à la fréquence du contrôle sont mentionnées dans la DASt 007.

Lors de l'inspection, les points faibles de la construction doivent être minutieusement recherchés. Ce sont par exemple les endroits soumis à une humidité permanente, comme sous un dépôt de saletés, de feuillages ou de rouille. À ces endroits, la corrosion risque d'apparaître plus rapidement. Une canalisation d'eau obstruée peut aussi constituer un point faible si l'eau ne peut être régulièrement évacuée. Le développement intempestif ou non maîtrisé de la végétation peut également avoir un effet négatif sur l'évolution de la corrosion de la construction en diminuant par exemple l'aération et l'ensoleillement.

5.2 Entretien

De petites causes pouvant avoir de grands effets, il est judicieux de détecter aussi rapidement que possible les points faibles. Aux endroits où de l'humidité s'accumule, il est possible par exemple de forer un trou pour évacuer l'eau. La saleté accumulée doit être éliminée. La cause de l'obstruction des canalisations doit être décelée. Les buissons et les arbres doivent être taillés. L'entretien doit être effectué par des professionnels accordant une attention toute particulière aux points sensibles. À cette fin, une liste de vérification (voir p.36) est un outil pratique, attirant l'attention entre autres sur les points suivants :

- Existe-t-il des endroits où la patine est visiblement plus claire ? Cet aspect est en effet le signe d'un processus de corrosion avancé.
- Existe-t-il des endroits humides en permanence ?
- La construction montre-t-elle des traces de ruissellement d'eau de rouille ?

5.3 Aspects économiques

Pour les architectes et les artistes, l'utilisation de l'acier auto-patinable est surtout motivée par les qualités esthétiques du matériau, à savoir la texture et la patine. Les ingénieurs quant à eux mettent plutôt l'accent sur ses avantages économiques. Le développement de l'acier auto-patinable dans les années 1930 est apparu pour ces dernières raisons uniquement. Dans les constructions non protégées, les diminutions d'épaisseur de l'acier auto-patinable par la corrosion sont en effet sensiblement inférieures à celles de l'acier de construction ordinaire non traité. Les constructions protégées oxyderont moins rapidement en cas d'endommagement local de la couche de corrosion.

De nos jours, l'acier auto-patinable est presque exclusivement utilisé dans les constructions à l'état non protégé. La question se pose dès lors de savoir si son utilisation offre un réel avantage économique par rapport à une construction métallique ordinaire, même protégée. Pour répondre à cette question, une série de conditions secondaires et de paramètres entrent en ligne de compte. Dans de nombreux cas, des considérations simples peuvent déjà permettre de formuler une réponse claire.

5.3.1 Prix de construction

L'économie engendrée par l'absence d'une couche de peinture de protection est plus importante que les coûts supplémentaires de matériaux éventuels qui représentent 10 à 15% du prix de revient des types d'acier de construction non alliés (en 2006, environ 100 Euros/tonne). Il convient cependant de tenir compte du surcoût que représentent les surépaisseurs.

5.3.2 Frais d'entretien

Dans la comparaison du prix de revient des constructions en acier auto-patinable par rapport aux constructions en acier de construction protégé, les coûts inhérents à l'entretien nécessaire du système de protection pendant la durée de vie de la construction jouent également un rôle. Il convient de tenir compte d'un certain nombre de facteurs :

- Tout d'abord, les coûts pour l'entretien ou le renouvellement de la protection après un certain temps. Ces coûts peuvent varier fortement en fonction notamment de l'accessibilité plus ou moins bonne de la construction et de la présence ou non de points de raccordement pour la fixation des échafaudages ou des plates-formes.
- Les coûts d'évacuation des déchets du produit de décapage utilisé.
- Les aspects écologiques peuvent entraîner l'obligation d'envelopper entièrement la structure pendant les travaux d'entretien, ce qui engendre également des coûts (importants).
- Enfin, des frais peuvent être engendrés par une limitation de l'utilisation de la construction pendant l'entretien. Citons pour exemple le cas des ponts, quand une route doit être fermée pendant la maintenance. Sur les autoroutes, de tels coûts peuvent être fort élevés et ne sont pas toujours pris en compte lors de l'établissement d'un plan financier.

5.3.3 Coûts ultérieurs

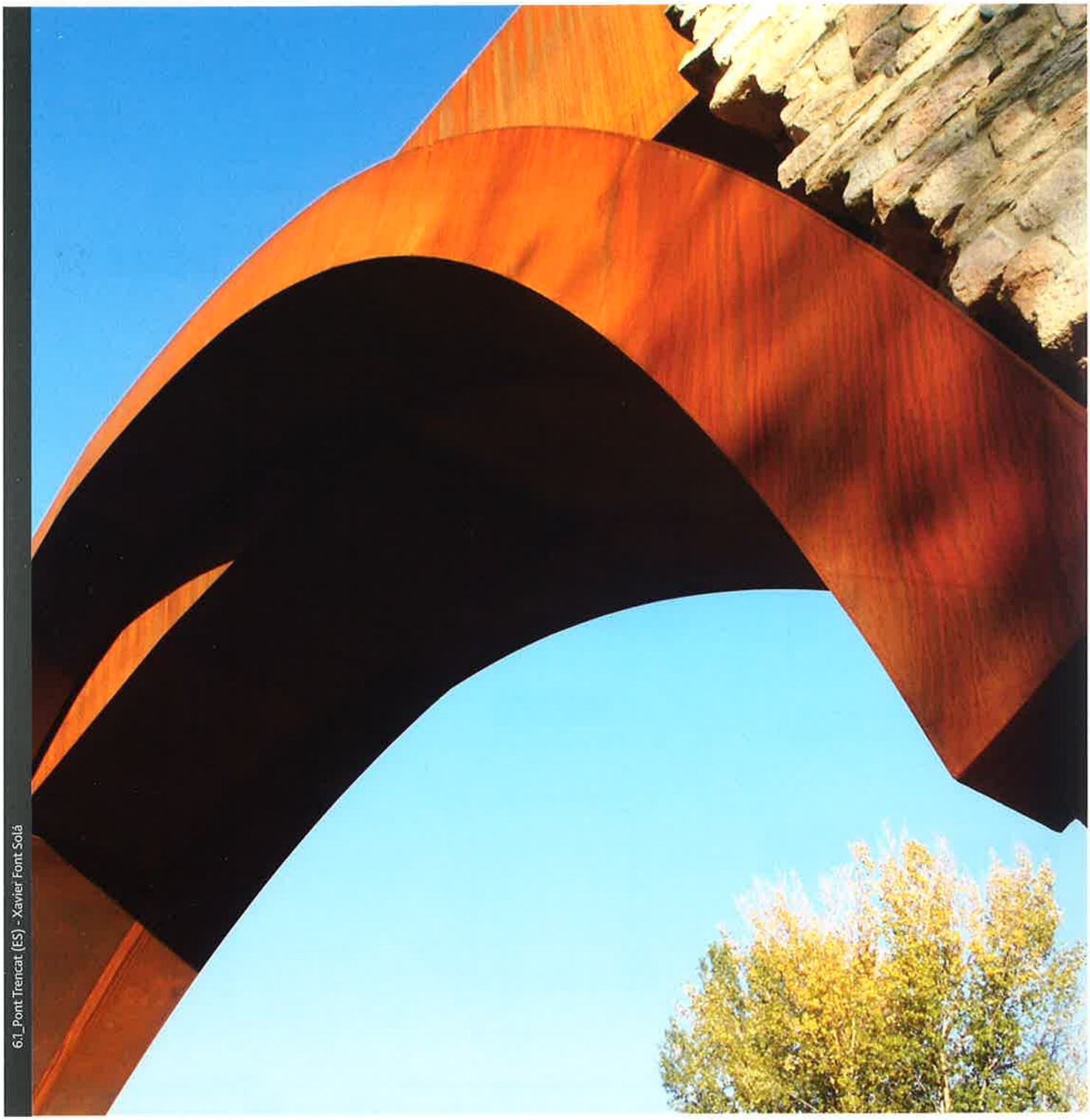
D'autres coûts sont encore engendrés pendant l'entretien de la protection contre la corrosion, surtout dans les constructions de génie civil (ponts). Ces coûts ne sont pas supportés par le propriétaire mais bien par les usagers et les contribuables. Les encombrements de circulation augmentent notamment les pertes de temps, la consommation de carburant et la pollution de l'air.

La nature de ces paramètres est telle qu'il n'existe pas de réponse absolue à la question économique. Pour des cas spécifiques - comme les ponts - une réponse générale est cependant possible. Fischer [6] notamment a réalisé une comparaison économique avec un pont de chemin de fer en profils tubulaires soudés. Sur les coûts de construction, 8% peuvent déjà être économisés par l'utilisation d'acier auto-patinable. Si les frais d'entretien pendant soixante ans sont également pris en considération, l'économie est alors portée à 15% minimum. D'autres comparaisons de coûts donnent des résultats similaires. L'économie est encore (beaucoup) plus importante si l'accès au pont est entravé et s'il est tenu compte pendant l'entretien de la nuisance écologique liée au système de protection. La question se pose de savoir si la société peut longtemps encore se permettre de négliger l'utilisation de l'acier auto-patinable. S'y ajoute le fait que même les qualités esthétiques de l'acier auto-patinable sont maintenant unanimement reconnues par les architectes et les artistes.

6_L'acier auto-patinable et les ponts

6.1 Introduction

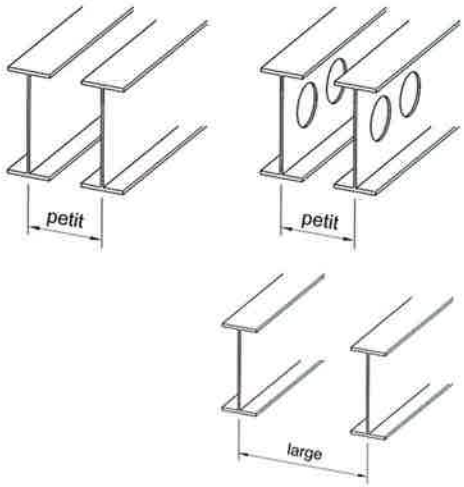
Si les conditions nécessaires à l'utilisation de l'acier auto-patinable sont réunies, rien n'empêche son application dans la construction de ponts. Bien entendu, il faut que l'utilisation de l'acier auto-patinable soit esthétiquement acceptable et justifiée. Une étude récente [e.a. 8] réalisée sur des dizaines de ponts déjà en service depuis plus de trente ans a démontré qu'ils sont tous en bon état. Il ressort ainsi des mesures d'épaisseur que les diminutions dues à la corrosion sont en général inférieures aux valeurs recommandées (mentionnées ci-dessus). L'étude a confirmé la nécessité absolue d'une conception correcte des détails de construction. Ainsi, bien entendu, l'humidité permanente sur les parties en acier auto-patinable doit être évitée. Les détails de la construction doivent avoir été conçus pour permettre une évacuation rapide de l'eau et éviter qu'elle ne stagne. En particulier, les piliers et les butées doivent être conçus de façon à ce que l'eau de ruissellement ne puisse entrer en contact avec les éléments (apparents) en béton.



6.1_Pont Trencat (ES) - Xavier Font Solá

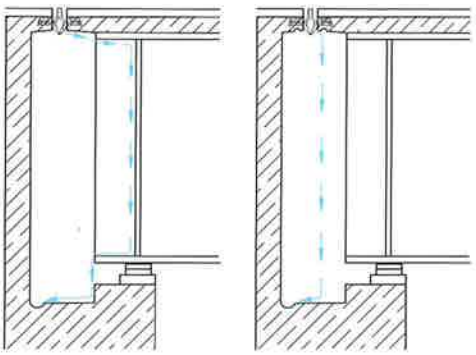
Quelques exemples pratiques d'une bonne finition

Non | Oui



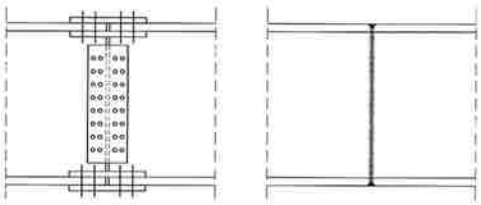
Entraxe de poutres principales
Veiller à une bonne aération pour faciliter l'évaporation de l'eau résiduelle éventuelle.

Non | Oui



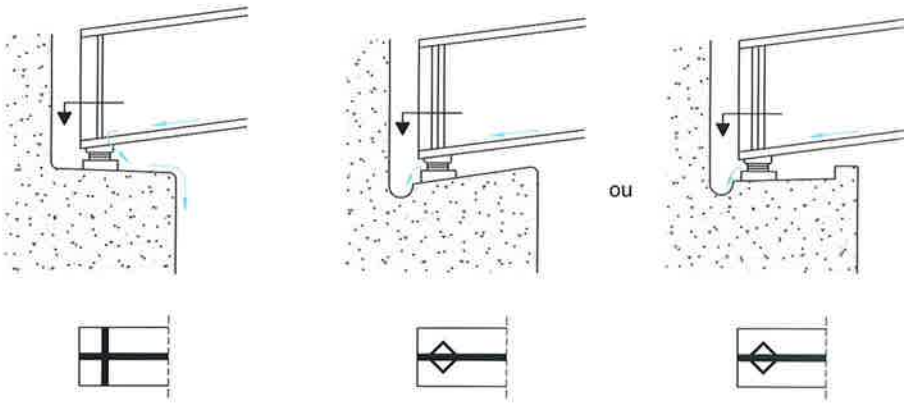
Joint de dilatation « étanche » obstrué
Éviter que l'eau de pluie ne s'écoule sur les éléments en acier.

Boulonné | Soudé : préférable



Joints de montage exposés à l'humidité
Éviter les interstices où l'humidité peut s'infiltrer.

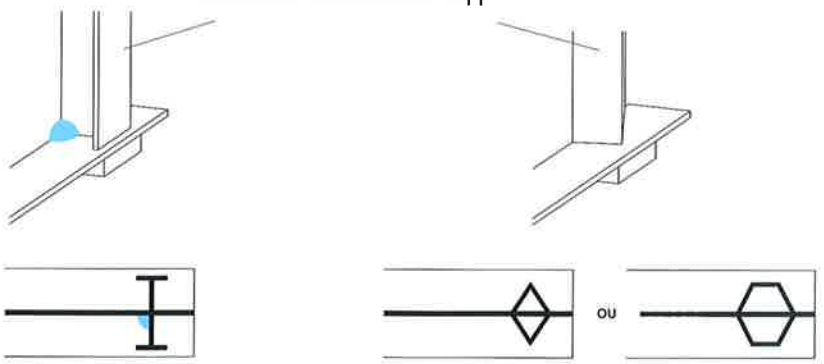
Non | Oui



Évacuation de l'eau au niveau des culées
Ne pas laisser l'eau de ruissellement s'écouler sur le béton (apparent).

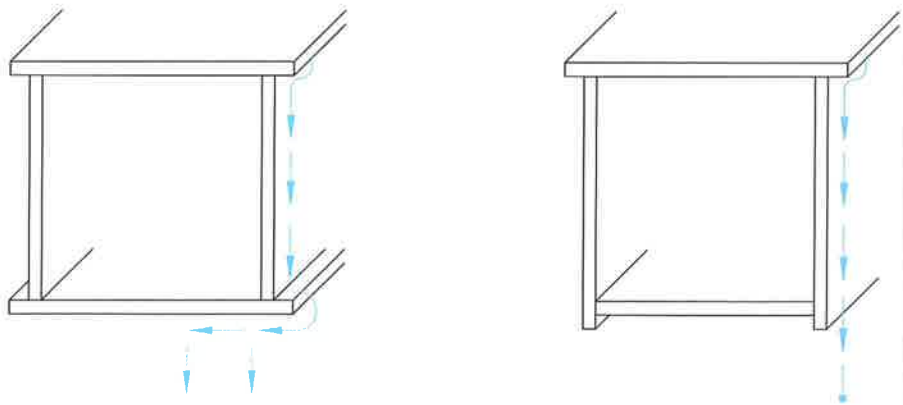
Non | Oui

Raidisseur à l'endroit de l'appui

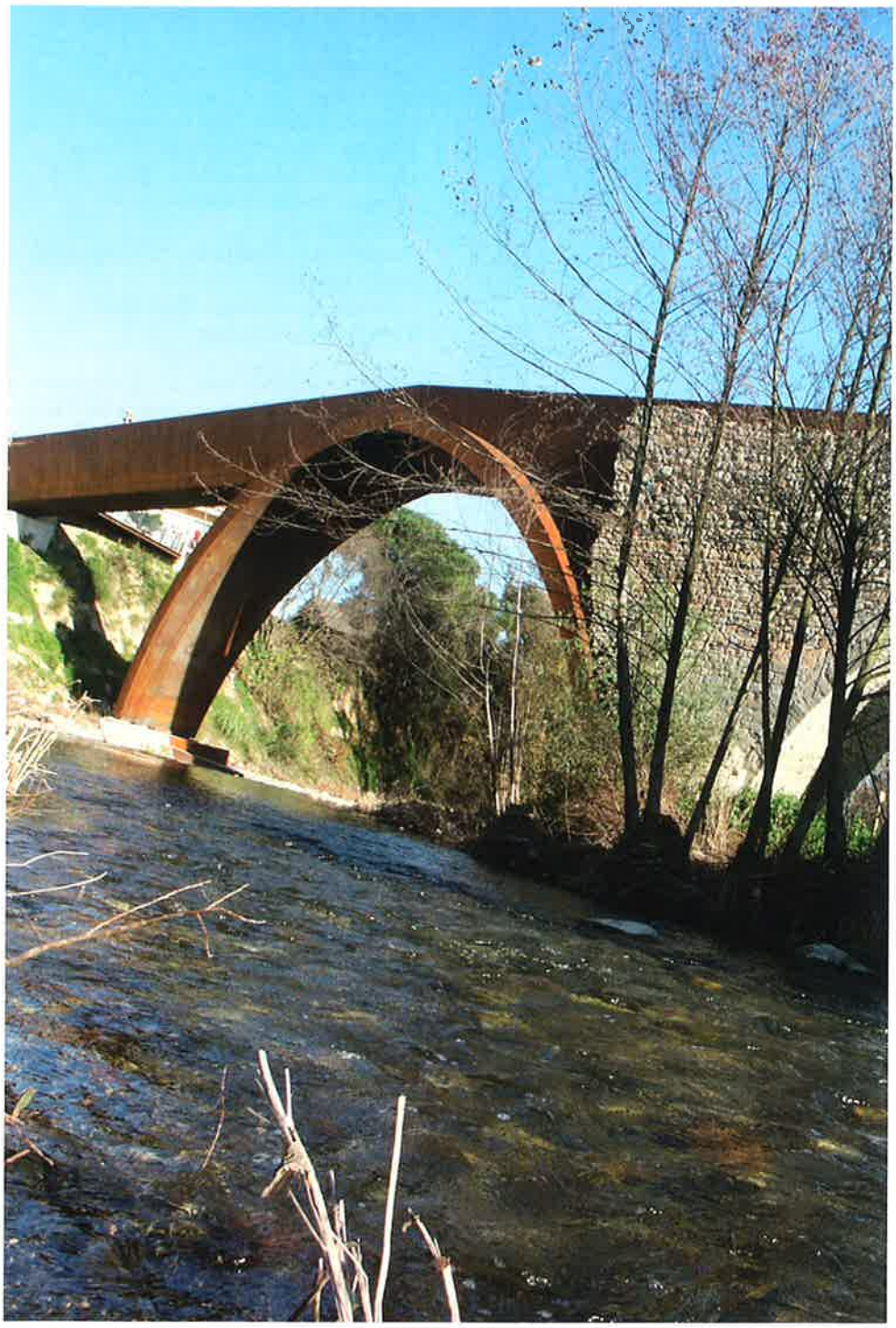


Choix des raidisseurs
Éviter les dépôts de saleté et l'eau stagnante.

Non | Oui



Finition des profils en caisson soudés
Veiller à une évacuation directe pour éviter l'eau stagnante.



6.2 Applications

6.2.1 Restauration du 'Pont Trencat'

Restauració del Pont Trencat, Sant Celoni (ES)
Maître d'ouvrage : Sant Celoni – Santa Maria de Palautordera (ES)
Architecte : Xavier Font Solà, Alfa Polaris, Barcelona (ES)
Bureau d'études : Xavier Font Solà, Alfa Polaris, Barcelona (ES)
Constructeur métallique : Tamansa, Gava (ES)
Année de construction : 2002-2003
Photos : Xavier Font Solà, Alfa Polaris

Pont Trencat signifie « pont brisé ». Le projet concerne la restauration de ce vieux pont en pierre naturelle dont l'une des deux arches gothiques avait été démolie lors des guerres napoléoniennes.
En l'absence de documents témoignant de la forme originelle, et vu la valeur historique de l'œuvre, une approche qui accentue le contraste entre l'ancien et le nouveau a été privilégiée. L'aspect de l'acier auto-patinable s'associe harmonieusement avec la pierre naturelle, et l'évolution de sa patine ancre à merveille l'œuvre dans l'espace et le temps.

La forme massive de la reconstruction s'intègre aux proportions des vestiges.
Les cinq éléments de la construction, trois pour le tablier et deux pour l'arche, ont été assemblés en atelier. Les deux caissons de l'arc, reliés par des croix de Saint André, ont été soudés sur place. La structure repose sur les ruines en pierre et, de l'autre, sur les nouvelles fondations dans le lit de la rivière.

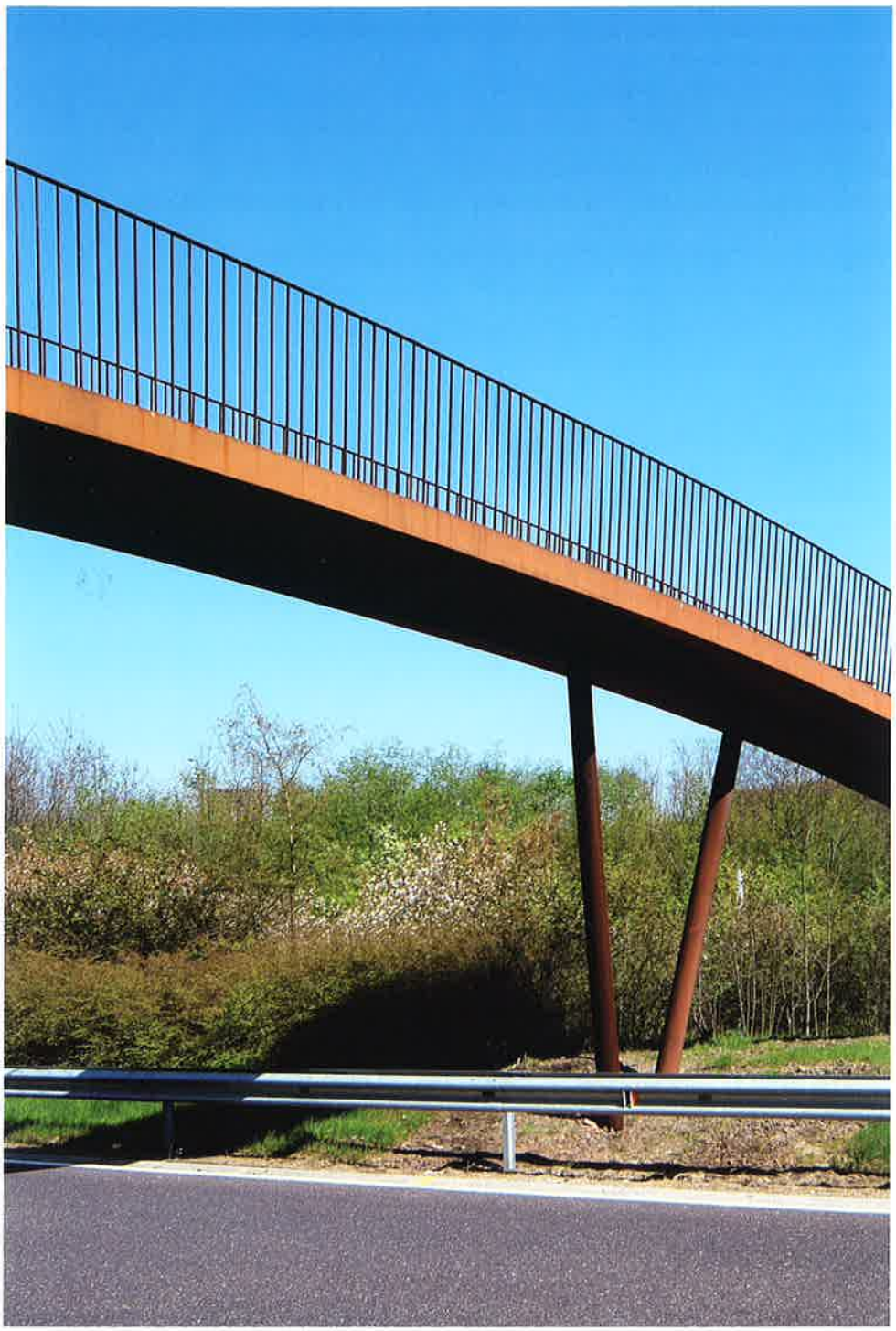
6.2.2 Échangeur autoroutier

Craigieburn Bypass, Melbourne (AU)
Maître d'ouvrage : VicRoads (AU)
Architecte : Taylor Cullity Leathlean, Adelaide (AU) et Tonkin Zulaikha Greer Architects, New South Wales (AU)
Bureau d'études : Meinhardt, Melbourne (AU)
Constructeur métallique : Bluescope Steel, Melbourne (AU)
Année de construction : 2002-2005
Photos : Sean McPhillips

Le Craigieburn Bypass relie sur 17 km le Hume Freeway de Craigieburn à la Metropolitan Ring Road de Thomastown. L'infrastructure comporte divers aménagements autoroutiers, dont des murs anti-bruit et une passerelle en acier auto-patinable. Le projet a été entièrement financé par le gouvernement australien.

Le maître d'ouvrage accordait beaucoup d'importance à ce que l'échangeur se fonde dans le paysage. L'utilisation de l'acier auto-patinable répond à cette exigence.

Les dimensions des panneaux utilisés ont requis la plus grande précision de la part du constructeur métallique. Les tôles ont été exposées au processus d'oxydation avant leur mise en place, ce qui a nécessité un espace de stockage adéquat.



6.2.3 Passerelle piétonne

Passerelle piétonne, Farciennes (BE)
Maître d'ouvrage : Ministère de l'Équipement et des Transports (BE)
Architecte : Bureau d'études Greisch, Liège (BE)
Bureau d'études : Bureau d'études Greisch, Liège (BE)
Constructeur métallique : Ateliers Melens & Dejardin, Jupille (BE)
Année de construction : 2004
Photos : DAYLIGHT - Bureau d'études Greisch

Cette passerelle franchit 40 m en deux travées, et atteint une hauteur de 4,50 m. Elle a été entièrement assemblée en usine et transportée sur le chantier en deux parties (22 m et 18 m). Le montage s'est fait en un jour, sans interruption de la circulation.

Grâce à sa teinte brun rouille qui s'intègre dans un environnement boisé et au peu d'entretien nécessaire, le choix de l'acier auto-patinable (S355 J0WP) s'est imposé comme une évidence. Tous les éléments, à savoir les quatre caissons, les rampes, les marches et les colonnes de soutien ont été réalisés à partir d'une seule bobine de 2 m de large et de 8 mm d'épaisseur.

Liste de vérification

Limites d'application

Dans les cas suivants, l'utilisation d'acier auto-patinable non protégé (sans revêtement) est déconseillée :

- ☐ atmosphère à humidité permanente (plus de 60% du temps) dans laquelle les alternances humide-sec sont rares. Ce n'est pas le cas du climat européen;
- ☐ haut niveau d'humidité de l'air dans des espaces clos, créant de la condensation sur la construction ou les éléments de façade (comme en l'absence d'un écran pare-vapeur) ;
- ☐ humidité permanente dans des détails de construction spécifiques (comme les interstices ou des espaces creux) ;
- ☐ distance minimale entre éléments constructifs et naturels: 1 m par rapport au sol ou à la végétation, 2,5 m par rapport aux eaux stagnantes, 3 m par rapport aux eaux ruisselantes. Ces valeurs s'appliquent en cas d'aération insuffisante ;
- ☐ présence de végétation aux environs immédiats de la construction, l'exposant à une humidité prolongée après la pluie en raison d'une aération insuffisante et d'un ruissellement du feuillage ;
- ☐ dans les zones maritimes, en raison du taux élevé de chlorures dans l'atmosphère. Ces zones s'étendent jusqu'à environ 1 km de la côte (dépend également de la direction du vent) ;
- ☐ dans les zones industrielles à atmosphère très nocive ;
- ☐ si la construction peut régulièrement entrer en contact avec du sel d'épandage qui ne serait pas évacué par l'eau de pluie ;
- ☐ si la rouille et l'eau de rouille risquent de souiller les constructions voisines.

Éviter l'humidité permanente

- ☐ concevoir et détailler le projet de façon à éviter toute accumulation d'humidité, de saleté, de terre, de poussière ou de feuilles (sinon l'eau et la condensation peuvent être « absorbées ») et veiller à ce que l'eau (de pluie) provenant des autres éléments de construction ne puisse atteindre l'acier;
- ☐ incliner (les éléments de) la construction pour évacuer l'eau de pluie le plus rapidement ;
- ☐ veiller à une bonne aération de la construction ;
- ☐ placer (et maintenir) la végétation à une distance suffisante de façon à garantir une bonne aération. Dans le pire des cas, de la mousse pourrait apparaître sur la construction, ce qui est contre-indiqué ;
- ☐ éviter les interstices dans lesquels l'eau pourrait s'accumuler (éventuellement par effet capillaire). Par contre, les joints très serrés (obturés par exemple par un mastic) par lesquels la rouille éventuelle ne peut pas s'échapper ne posent pas de problème ;
- ☐ obturer les endroits inaccessibles pour empêcher la pénétration d'eau ;
- ☐ ne pas pratiquer de grandes ouvertures dans les caissons accessibles (comme dans certains ponts) pour éviter la pénétration excessive d'air extérieur et la condensation ;
- ☐ éviter la condensation dans les locaux intérieurs à haut degré d'humidité. Il est parfois nécessaire d'appliquer un écran pare-vapeur (par exemple pour le revêtement de façade) ou de prévoir une aération supplémentaire ;
- ☐ éviter que de l'eau ou de la vapeur d'eau ne pénètre dans les panneaux sandwich de revêtement de façade;
- ☐ concevoir les joints des éléments de façade sans interstice ou chevauchement où l'humidité s'accumulerait.

Éviter la corrosion galvanique

- ☐ éviter le contact ou les assemblages avec des métaux plus nobles comme l'acier inoxydable, le cuivre, le plomb ou l'étain, ainsi qu'avec les métaux moins nobles comme le zinc et l'aluminium s'ils sont exposés à l'eau de pluie. Le rapport de masse des métaux est également à prendre en compte.

Limiter la coloration irrégulière

- ☐ pour des raisons esthétiques et pour obtenir une patine uniforme, éliminer la calamine des surfaces apparentes (par un décapage homogène après fabrication) ;
- ☐ concevoir et détailler la construction de sorte que l'eau (de pluie) ruisselle de façon régulière. Sinon, à terme, des traînées claires apparaissent sur la surface ;
- ☐ placer (et maintenir) la végétation à distance suffisante pour que l'eau ne puisse s'écouler sur la construction, ce qui provoquerait une coloration irrégulière de la patine ;
- ☐ éviter l'aspiration de l'eau par effet capillaire ;
- ☐ ne pas s'attendre à ce que toutes les surfaces exposées présentent une même couleur ou une patine uniforme, même s'il est satisfait aux exigences ci-dessus.

Éviter les salissures pendant la fabrication, le transport et le montage

- ☐ éviter les salissures indélébiles liées à l'utilisation de craie de marquage, d'huile, de graisse, de détergent ou d'autres matières. Il est par ailleurs recommandé de décaper les surfaces apparentes après fabrication;
- ☐ planifier l'entreposage temporaire, le transport et le montage de façon à éviter les griffes ou tout autre dégât.

Éviter les dégradations causées par d'autres éléments

- ☐ concevoir les canalisations d'évacuation d'eau de façon à ce qu'en cas de fuite ou d'obstruction, l'eau ne puisse couler sur la construction ;
- ☐ dans le cas des ponts, veiller à ce que l'obstruction éventuelle des joints de dilatation n'occasionne aucun dommage à la construction sous-jacente ;
- ☐ s'il est impossible de garantir la parfaite étanchéité d'un écran pare-vapeur pendant toute la durée de vie de l'ouvrage, il est recommandé de prévoir une protection évitant que la condensation ultérieure n'endommage la construction.

Éviter la salissure des éléments de constructions voisines

- ☐ concevoir et détailler le projet de façon à ce que le ruissellement d'eau de rouille n'entache pas les constructions voisines. Tenir compte à cette fin des effets du vent.

Inspection et entretien

- ☐ vérifier périodiquement le respect des conditions environnantes choisies (végétation, distance par rapport au sol, etc.) pour toutes les constructions;
- ☐ réparer les défauts ou dommages éventuels (obstructions, dégradation de pare-vapeur, accumulations de saleté, etc.).

Photos

Philippe Ruault
Cover

G.G. Kirschner
0.1, 2.2, 2.3, 6.2

Daniel Kieckhefer
0.2, 1.1

Jean-Luc Laloux
0.3, 4.14

Donald Desmet
0.4, 3.4

Kurt Schraepen
1.2, 1.3

Dale Jones-Evans Architecture
2.1, 4.6, 4.10

n!studio Ferrini Stella Architetti Associati
2.4, 4.5

André Dejardin
3.1, 3.2, 3.5

ZNS-Van Dam
3.3

Bureau d'études Greisch
3.6

Katsuaki Furudate
3.7

Andréa Weier
4.1, 4.9

Michel Delaere
4.2, 4.3, 4.7

Caroline Christiaens
4.4, 4.13

Bartel Viljoen
4.8

M.Moers
4.11

Metal Quartz
4.12

Xavier Font Solá
6.1

Bibliographie

[1] EN 10020 : Définition et classification des nuances d'acier, édition 2000.

[2] EN 10025-5 : Produits laminés à chaud en aciers de construction - Partie 5 : Conditions techniques de livraison pour les aciers de construction à résistance améliorée à la corrosion atmosphérique, édition 2004.

[3] EN 10025-1 : Produits laminés à chaud en aciers de construction - Partie 1 : Conditions générales techniques de livraison, édition 2004.

[4] Directive DASt 007 : Lieferung, Verarbeitung und Anwendung wetterfeste Baustähle, Deutscher Ausschuss für Stahlbau, Cologne, 1993.

[5] EN 12944-2 : Peintures et vernis - Anticorrosion des structures en acier par systèmes de peinture - Partie 2 : Classification des environnements, édition 1998.

[6] Fischer M., Wetterfester Baustahl, Merkblatt 434, Stahl-Informations-Zentrum, Dusseldorf, 1. édition, 2004.

[7] ISO 9224 : Corrosion des métaux et alliages -- Corrosivité des atmosphères -- Valeurs de référence relatives aux classes de corrosivité, 1992.

[8] Lebet J.-P., Lang T.P., Ponts en acier auto-patinable, VSS n° 562, Zurich, 2001.

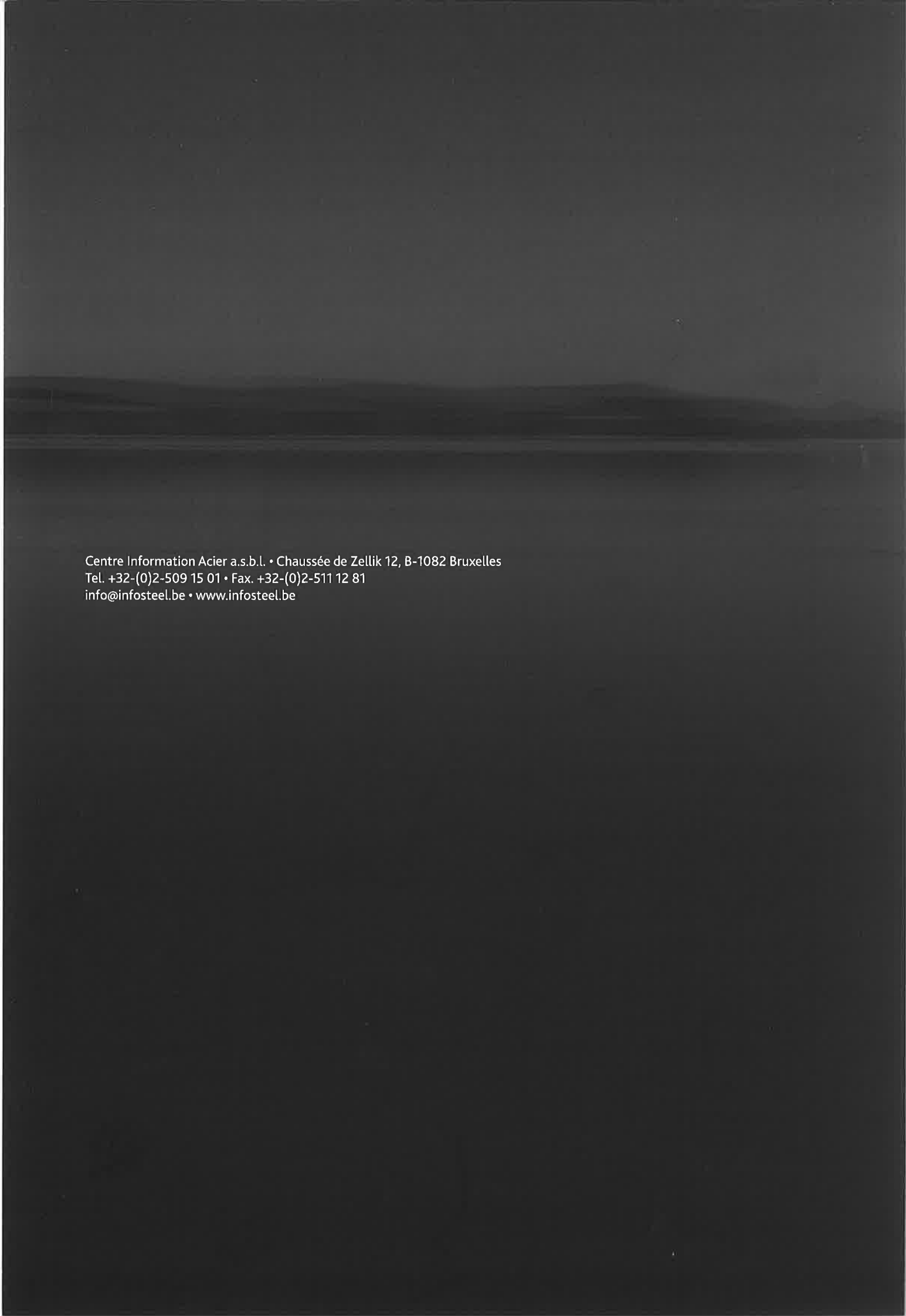
Autres informations :

Bridges in Steel – The Use of Weathering Steel in Bridges, Publication n° 81, ECCS, Bruxelles, 1995.

Construire en acier – Acier patinable, steeldoc n°03/05, Centre suisse de la construction métallique, Zurich, 2005.

COR-TEN Façades, Rautaruukki Oyj and Rakennustieto Oy, Helsinki, 2001.

www.infosteel.be



Centre Information Acier a.s.b.l. • Chaussée de Zellik 12, B-1082 Bruxelles
Tel. +32-(0)2-509 15 01 • Fax. +32-(0)2-511 12 81
info@infosteel.be • www.infosteel.be